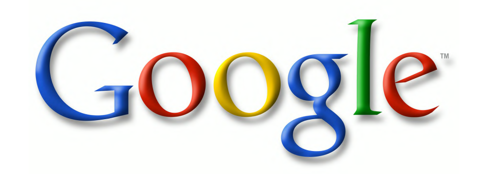
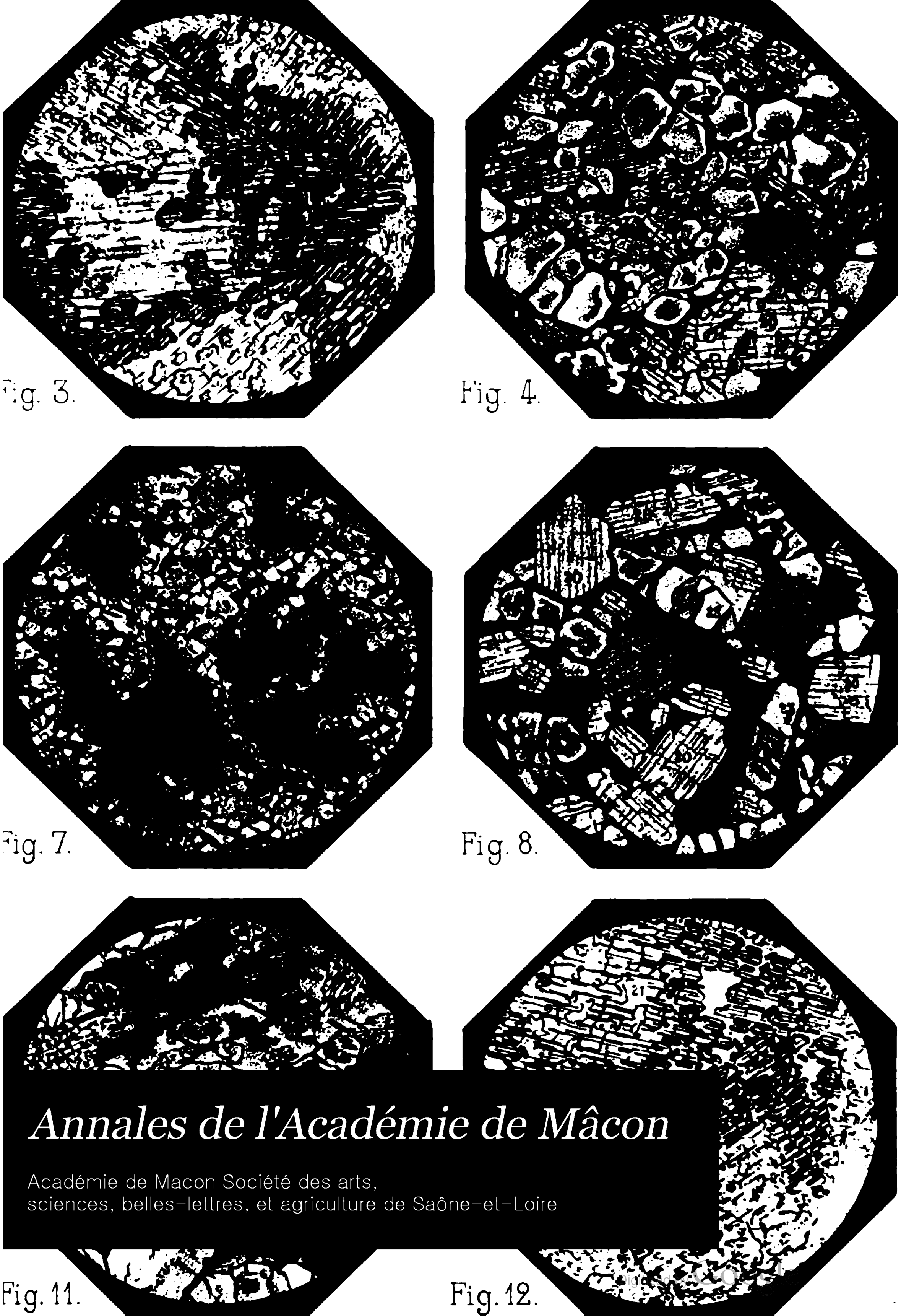
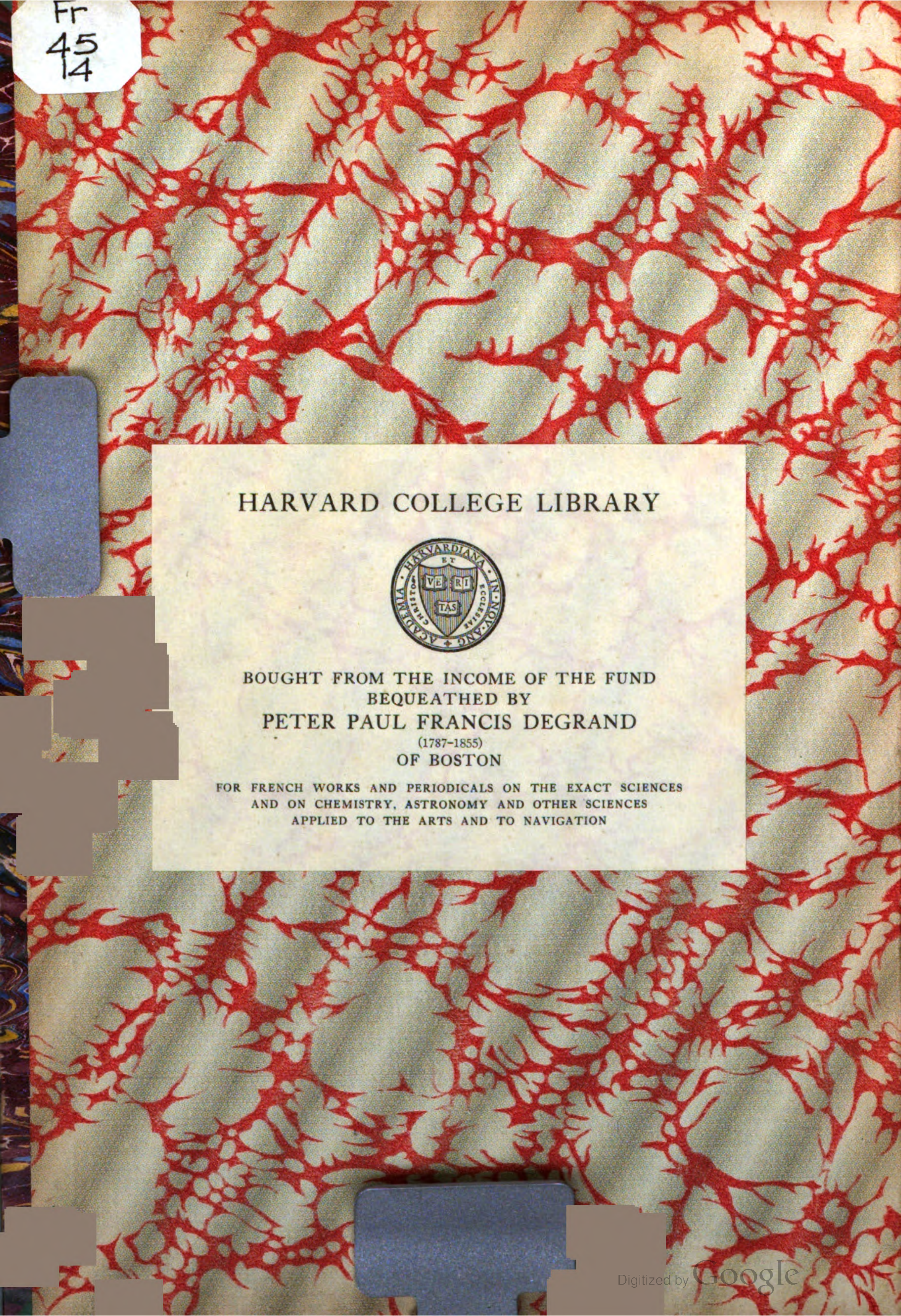



Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 7.
Fig. 8.
Annales de l'Académie de Mâcon
Académie de Macon Société des arts,
sciences, belles-lettres, et agriculture de Saône-et-Loire
Fig. 11.
Fig. 12.



Fr
45
14



ANNALES

DE

L'ACADÉMIE DE MACON

SOCIÉTÉ DES ARTS, SCIENCES, BELLES-LETTRES
ET D'AGRICULTURE

IIe SÉRIE. — TOME X



MACON
PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS

1893



ANNALES

DE

L'ACADÉMIE DE MACON

La Société déclare qu'elle n'entend approuver ni garantir les opinions et assertions émises par ses membres dans les ouvrages publiés par elle.

(Art. 17 du règlement.)

ANNALES

DE

L'ACADÉMIE DE MACON

SOCIÉTÉ DES ARTS, SCIENCES, BELLES-LETTRES
ET D'AGRICULTURE

IIe SÉRIE. — TOME X



MACON
PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS

1893

ALFRED LACROIX

PROFESSEUR DE MINÉRALOGIE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

LES ENCLAVES

DES

ROCHES VOLCANIQUES

AVANT-PROPOS

Ce mémoire a été présenté le 29 mai 1892 à l'Académie des Sciences, qui a bien voulu lui décerner le *Prix Vaillant* et lui faire l'honneur d'une insertion partielle dans le *Recueil des Savants étrangers.*

Il a fait l'un des principaux objets de mes recherches pendant les trois dernières années que j'ai passées dans le laboratoire de M. Fouqué, au Collège de France.

L'Académie de Mâcon m'ayant accordé l'hospitalité de ses Annales, mon travail peut être aujourd'hui publié dans toute son étendue. Je suis heureux d'en exprimer toute ma gratitude à la Société savante de ma ville natale.

Les planches en couleurs qui accompagnent ce mémoire n'ont pu être imprimées que grâce à une subvention allouée par M. le Ministre de l'Instruction publique à l'Académie de Mâcon, sur la proposition du Comité des Travaux scientifiques et historiques. Je tiens également à témoigner la reconnaissance que m'inspire cette faveur.

Au cours de l'impression, j'ai entrepris un voyage dans l'Italie méridionale, avec l'intention de vérifier sur place quelques observations. J'y ai recueilli une quantité considérable de documents, dont l'étude

effectuée dans le laboratoire de Minéralogie du *Muséum d'histoire naturelle*, a nécessité l'addition d'un grand nombre de faits nouveaux à ma rédaction première, et par suite, a retardé de plusieurs mois la publication de ce travail.

Paris, 1er septembre 1893.

INTRODUCTION

Dans toutes les régions volcaniques, on rencontre, en quantité variable, des fragments de roches englobées dans les laves massives, ou parmi les produits de projection.

Ces fragments, que je désignerai désormais sous le nom d'*enclaves,* sont constitués soit par des roches volcaniques provenant d'anciennes éruptions, soit par des roches *grenues* ou *schisteuses*, de composition minéralogique et d'origine diverses.

Les enclaves de *roches volcaniques* dans roches volcaniques présentent surtout un intérêt local. Elles permettent d'établir la chronologie des éruptions d'une même région, et font connaître souvent des types pétrographiques qui ne sont plus visibles à la surface du sol. Je ne m'en occuperai qu'accessoirement dans ce mémoire, spécialement consacré à l'étude des enclaves grenues ou schisteuses qui présentent un intérêt plus général.

Un rapide examen de ces dernières permet de les diviser en deux catégories.

La première est formée par des roches sans rapport de composition minéralogique ni d'origine avec la roche volcanique englobante (*granite* enclavé dans les *basaltes*, *calcaire* dans les *trachytes,* etc.),

je les désignerai sous le nom d'*enclaves énallogènes*[1].

La seconde comprend des associations minérales très cristallines, qui présentent avec la roche volcanique une plus ou moins grande analogie, de composition minéralogique et d'origine (*syénites néphéliniques* enclavées dans les *phonolites*, *sanidinites* dans les *trachytes*, *nodules à hornblende* et *biotite*, *nodules à olivine* dans les *basaltes*); je les appellerai *enclaves homœogènes*[2].

L'intérêt qui s'attache à toutes ces enclaves est multiple, car leur étude permet d'aborder plusieurs grandes questions sur lesquelles, à l'heure actuelle, la science n'a que des données incomplètes.

Enclaves énallogènes. Les *enclaves énallogènes* sont intéressantes en premier lieu au point de vue de l'histoire du *métamorphisme*.

On sait que la plupart des roches éruptives granitoïdes modifient d'une façon plus ou moins profonde les roches avec lesquelles elles se trouvent en contact. La cause de ces phénomènes métamorphiques peut être cherchée dans l'action de trois facteurs principaux : température, minéralisateurs, pression.

La nature des minéraux formés dans ces conditions montre qu'ils ne sont pas dus à des phénomènes calorifiques seuls, mais à des actions chimiques effectuées sous l'influence de puissants minéralisateurs ayant agi sous pression, comme l'ont fait ressortir depuis longtemps plusieurs savants et particulièrement M. Daubrée[3].

1. 'ἐναλλος, différent, γεννάω.
2. ὅμοιος, semblable, γεννάω.
3. *Études et expériences synthétiques sur le métamorphisme.* Mémoire des Savants étrangers, XVII, chap. V, 1860.

Les roches volcaniques épanchées à la surface du sol ou observées en masses ou en dykes voisins de la surface n'exercent généralement pas de modifications minéralogiques notables sur les roches avec lesquelles elles se trouvent en contact, ou tout au moins ces modifications, quand elles existent, ne sont pas comparables à celles dues aux roches granitoïdes. Les conditions de leur gisement l'expliquent, du reste, facilement. Ces roches ont perdu au moment de leur émission les minéralisateurs qui les accompagnaient, et, en outre, dans le cas le plus général, les plus énergiques des minéralisateurs qui forment le cortège des roches granitoïdes, tels que le fluor et le bore, semblent leur avoir presque entièrement manqué.

Elles ne peuvent donc agir que par leur chaleur seule, et les modifications exercées de ce chef ne sont jamais très importantes.

Il n'en serait sans doute pas ainsi si l'on pouvait étudier ces roches en profondeur; mais les érosions ne sont pas suffisantes pour qu'on puisse les observer dans de semblables conditions; c'est cette lacune que l'étude des enclaves permet de combler.

Grâce à elles, on peut rechercher les modifications qu'exerceraient les roches volcaniques sur les matériaux pierreux en contact, si au lieu de s'épancher à l'air libre elles exerçaient leur action sous pression, à la manière des roches intrusives plus anciennes.

En effet, les enclaves, une fois englobées par la roche volcanique, se trouvent à haute température et sous pression en présence de fluides minéralisateurs accompagnant les magmas avant leur épanchement à la surface du sol. Elles sont donc dans

des conditions comparables à celles des roches soumises à l'action des roches éruptives plus anciennes, action qui s'est exercée en profondeur, et que les érosions seules nous permettent aujourd'hui d'étudier à découvert. Les transformations qu'elles subissent alors sont variées et dépendent, comme je l'établirai plus loin, à la fois de leur composition chimique initiale et de celle de la roche volcanique qui les englobe.

Au point de vue minéralogique pur, ces enclaves conduisent à des remarques importantes. Elles renferment fréquemment des minéraux inconnus en place dans la région, tels que les beaux cristaux de zircon et de corindon des basaltes du Velay et des roches basiques des bords du Rhin, tels que le diaspore du Velay, etc. Dans d'autres cas, elles contiennent à l'état de pureté parfaite des minéraux (cordiérite des tufs basaltiques du Velay) qui, grâce à la profondeur de leur gisement originel, ont pu échapper aux altérations auxquelles ont été soumises toutes les roches superficielles.

Dans un très grand nombre de cas, les phénomènes métamorphiques dont ces enclaves ont été le siège, ont occasionné la formation de minéraux drusiques intéressants.

C'est ainsi que beaucoup de minéraux cristallisés, des régions volcaniques se trouvent non pas dans les roches volcaniques, mais dans les enclaves modifiées par elles. Il suffira de citer l'hypersthène et la tridymite du Mont-Dore, tous les minéraux des enclaves calcaires du Vésuve et du Latium, etc., pour montrer l'importance de cette question.

Enclaves homœogènes. — Les reproductions syn-

thétiques de MM. Fouqué et Michel Lévy ont montré qu'un même magma basique fondu, soumis à des conditions différentes de refroidissement, donnait des roches de structure différente. L'étude des enclaves homœogènes permet de rechercher sous quelle forme une roche volcanique donnée aurait pu cristalliser si, au lieu de s'épancher en masses microlitiques, elle s'était consolidée dans les profondeurs. Elle permet ainsi d'établir les relations existant entre les roches microlitiques et les roches grenues de composition correspondante (enclaves de syénite néphélinique dans les phonolites, etc.).

Toutes les enclaves homœogènes n'ont pas, du reste, une semblable origine. Beaucoup d'entre elles ne représentent pas la forme grenue de la roche enclavante, mais doivent être considérées comme ayant été produites par *liquation* d'un magma initial plus basique que la roche englobante (nodules à olivine des basaltes) ou par *ségrégation*[1] en profondeur d'un certain nombre seulement des éléments de cette dernière (nodules à hornblende et augite des basaltes, etc.).

Ces diverses questions seront traitées dans chaque cas particulier; elles ne sont pas, du reste, toujours

1. Par *ségrégations*, j'entends des agrégats de grands cristaux, produits dans le magma encore fluide, mais n'ayant pas donné naissance à une masse continue de roche. Ce ne sont donc pas de véritables enclaves au sens strict du mot, puisqu'elles sont le résultat d'une formation endogène du magma et qu'elles ont été charriées et non arrachées par celui-ci. Mais leur aspect extérieur est tellement identique à celui des enclaves proprement dites et elles se relient d'une façon si intime aux véritables enclaves homœogènes que leur étude ne peut guère être séparée de celle de ces dernières.

susceptibles d'une solution définitive dans l'état actuel de nos connaissances.

Les difficultés d'interprétation qui se présenteront quelquefois tiennent souvent à la coexistence dans une roche même volcanique d'enclaves de composition minéralogique voisine et d'origine différente.

Les enclaves des roches volcaniques ont frappé tous les minéralogistes et les géologues qui ont observé de près les volcans et leurs produits. Bien que de nombreux mémoires aient été publiés déjà sur les questions traitées dans cet ouvrage, aucun travail minéralogique d'ensemble n'a été fait sur ce sujet, ce qui s'explique, du reste, d'une part, par la difficulté de réunir les matériaux nécessaires, et de l'autre, par l'insuffisance des anciens moyens d'observation. En effet, les modifications subies par les enclaves ne sont, le plus souvent, appréciables que grâce à l'étude de lames minces taillées dans ces roches, et il est nécessaire d'user de toutes les ressources de la minéralogie moderne pour les étudier dans leurs détails.

La plupart des mémoires antérieurs ont porté sur l'examen d'un petit nombre d'échantillons, parfois même d'un seul; m'occupant spécialement de cette question depuis plusieurs années, j'ai réuni plus de 3.000 échantillons provenant des régions volcaniques les plus variées; ils ont été recueillis en grande partie par moi. J'en dois plusieurs à la bienveillance de mes maîtres, MM. des Cloizeaux, Daubrée, Fouqué, Michel Lévy, à l'obligeance de nombreux géologues français, MM. Bleicher, Boule, Bréon, Collot, Curie, Fayol, Gaubert, P. Gautier, Gentil, Gonnard, Jannettaz, de Lapparent, de Launay,

St. Meunier, Munier Chalmas, Œhlert, Ply, Rames, Vélain. Je tiens à remercier, en outre, les savants étrangers, MM. Bäckström, Max Bauer, Bassani, Bertolio, Böhm, Bleibtreu, del Castillo, Chelius, Clements, Cohen, Doelter, Duparc, von Foullon, Francchi, Graeff, J. Lehmann, Lima, Lotti, Lovisato, Moderni, Omboni, Pacheco do Canto, Pellati, Quiroga, Rosenbusch, E. Scacchi, Seligmann, de Stefani, Streng, Strüver, Szábo, Szádeczky, Traube, Trechmann et Zirkel, qui m'ont fourni de précieux documents, accompagné dans les excursions que j'ai faites dans leur pays ou facilité mes recherches sur le terrain, au cours de diverses missions qui m'ont été confiées par M. le Ministre de l'Instruction publique.

Je tiens à n'oublier ici ni M. Jacquemin, l'habile artiste, qui a exécuté sous ma direction les 8 planches et les figures intercalées dans le texte, ni M. Yvan Werlein, qui a dû déployer des prodiges d'adresse pour la taille d'un nombre considérable d'enclaves friables, à peine cohérentes, dont j'ai pu cependant étudier dans une même coupe mince le contact avec la roche englobante.

Cette richesse en matériaux nouveaux me permet de tirer quelques conclusions générales de mes observations, bien que j'aie jugé nécessaire d'être fort prudent sur un sujet semblable, pour lequel les faits d'observation ne seront jamais trop nombreux.

J'ai fait dans ce mémoire la plus grande place à mes études personnelles, tout en rappelant brièvement ceux des travaux antérieurs pouvant jeter quelque jour sur mon sujet. On en trouvera, du reste, la bibliographie, ainsi qu'une courte analyse

dans le chapitre B du tome III de l'*Allgemeine Geologie* de Justus Roth (1890).

Divisions adoptées dans ce mémoire. — J'ai remarqué qu'au point de vue des modifications exercées sur leurs enclaves, les roches volcaniques enclavantes pouvaient être divisées en deux groupes que j'ai désignés sous le nom de *Roches basaltoïdes* et de *Roches trachytoïdes*.

Par roches basaltoïdes, j'entends toutes les roches sans orthose. Ce sont des roches de couleur généralement foncée, compactes ou scoriacées; elles comprennent les types suivants de la nomenclature française : *basalte, labradorite, andésite augitique, néphélinite, leucitite, basalte mélilitique, téphrite* et *leucotéphrite basiques, limburgite, augitite*[1].

On voit par cette énumération que toutes ces roches sont celles qui ont été reproduites par fusion purement ignée par MM. Fouqué et Michel Lévy. Les résultats de ce travail apporteront de nouveaux arguments à la théorie de mes savants maîtres sur l'origine de la plupart de ces roches.

Les roches trachytoïdes comprennent toutes les roches volcaniques renfermant de l'orthose ou des feldspaths tricliniques acides : elles sont de couleur plus claire que les précédentes. Ce sont *les trachytes, les andésites acides, les phonolites, les leucitophyres* et *les leucotéphrites à sanidine*, ainsi que *les rhyolites, les dacites*, sur lesquelles je n'ai pu recueillir que fort peu de documents.

1. Pour la nomenclature pétrographique employée dans ce mémoire, voir page 549.

Ces roches n'ont pas été reproduites par fusion purement ignée. Là encore mes observations sont conformes à la théorie qui voit dans ces roches le résultat d'une cristallisation, effectuée par fusion en présence de minéralisateurs, parmi lesquels la vapeur d'eau semble avoir joué un rôle prépondérant.

Les modifications exercées sur une même catégorie d'enclaves par les divers membres de chacun de ces deux grands groupes de roches volcaniques sont sensiblement les mêmes, ou, tout au moins, ces modifications sont comparables entre elles.

Ces divisions ne sont évidemment pas absolues et l'on rencontre, au point de vue qui nous occupe ici, des passages entre les roches trachytoïdes et basaltoïdes. Il suffira de citer les andésites à hornblende par exemple, intermédiaires entre le groupe des trachytes et celui des andésites augitiques et des basaltes. Les roches basiques à leucite semblent, de même, au point de vue du mode de formation, tenir le milieu entre les roches basaltoïdes et les roches trachytoïdes, ainsi que le montrent leur action métamorphique sur leurs enclaves calcaires et la nature de leurs enclaves homœogènes.

J'ai divisé mon mémoire en trois parties distinctes.

Dans la PREMIÈRE PARTIE, j'ai étudié les *enclaves énallogènes*; le lecteur y trouvera traitées les questions relatives au métamorphisme dû aux roches volcaniques. C'est afin de compléter les données relatives à cette importante question que j'ai consacré un paragraphe aux enclaves de roches volcaniques dans roches volcaniques, en considérant ces

enclaves uniquement au point de vue de leur composition minéralogique sans m'occuper des relations génétiques qu'elles peuvent avoir avec la roche englobante.

Dans la SECONDE PARTIE, les enclaves homœogènes sont passées en revue, et leurs relations avec la roche englobante y sont discutées.

Dans chacune de ces deux grandes divisions, des chapitres distincts sont consacrés aux roches enclavantes basaltoïdes et trachytoïdes[1].

Pour faciliter la lecture de ce mémoire, que des descriptions minéralogiques nombreuses, mais indispensables, rendent parfois un peu aride, j'ai cru pouvoir, contrairement à l'usage, placer en *tête* de chaque paragraphe le résumé des diverses observations qui y sont contenues.

La TROISIÈME PARTIE est consacrée à la coordination des résultats acquis et constitue le résumé général de mon travail.

Un index géographique dans lequel[2] est indiqué la nature des roches enclavantes et enclavées permettra de retrouver aisément les documents particuliers.

1. Cette disposition permet de trouver facilement ce qui concerne l'histoire de chacun des deux groupes de roches enclavantes ; les chapitres I de la 1re et II de la 2e partie renferment ce qui a rapport aux *roches basaltoïdes*; les chapitres II de la 1re partie et I de la 2e, ce qui touche aux *roches trachytoïdes*.

2. p. 661.

PREMIÈRE PARTIE

ENCLAVES ENALLOGÈNES

(*Enclaves de roches étrangères au magma de la roche volcanique englobante*)

ÉTUDE SUR LE MÉTAMORPHISME DES ROCHES VOLCANIQUES

CHAPITRE PREMIER

MODIFICATIONS SUBIES PAR LES ENCLAVES DES ROCHES BASALTOÏDES

Les modifications effectuées par les roches basaltoïdes sur leurs enclaves dépendant de la composition minéralogique de ces dernières, je passerai successivement en revue dans ce chapitre les types suivants d'enclaves :

§ I. Enclaves de roches exclusivement quartzeuses.
§ II. Enclaves d'argiles et de schistes argileux.
§ III. Enclaves de roches quartzofeldspathiques.
§ IV. Enclaves de roches silicatées non quartzifères.
§ V. Enclaves de calcaires.

I. — Enclaves de roches exclusivement quartzeuses.

Résumé et conclusions. — Les modifications subies par les enclaves exclusivement quartzeuses, englobées dans les *roches basaltoïdes* présentent une remarquable identité dans les divers gisements où on les observe, quelle que soit du reste la composition minéralogique de la roche volcanique enclavante.

Généralement, le quartz englobé est étonné, fritté, soit par suite des changements brusques de température auxquels il a été soumis, soit par la dilatation des gaz et liquides contenus dans ses inclusions primaires. On y observe un très grand nombre d'inclusions gazeuses qui sont en partie d'anciennes inclusions liquides vidées, et en partie des inclusions récentes, déterminées par la haute température à laquelle a été maintenu le quartz enclavé, température qui peut s'élever jusqu'à celle de sa fusion. Ces dernières inclusions se distinguent des premières par leur abondance beaucoup plus grande et leur distribution sans ordre dans le quartz. Ces faits sont si généraux que je n'y reviendrai pas dans mes descriptions locales.

Dans quelques cas particuliers, on peut constater que ces inclusions gazeuses, d'origine secondaire, ont été remplies après coup par la condensation des vapeurs, accompagnant l'émission de la roche volcanique. Nous retrouverons ces inclusions liquides secondaires dans les enclaves de feldspath, décrites dans un des paragraphes suivants. Enfin, parfois, il se développe dans le quartz des inclusions vitreuses secondaires.

Si l'on considère le cas général d'un fragment de quartz englobé dans une roche volcanique basique, on constate généralement que celui-ci est fondu à sa périphérie; il est alors séparé du magma volcanique par une zone vitreuse dans laquelle se développent de longs cristaux, souvent creux, d'augite. Ils sont tantôt implantés sur la paroi basaltique, leur extrémité libre dirigée vers le quartz, tantôt distribués d'une façon quelconque ou accolés aux grains quartzeux. Leur couleur est généralement différente de celle de l'augite de la roche volcanique, il n'est pas rare de voir des cristaux violacés du côté extérieur, incolores ou vert clair dans la partie intérieure de la zone

vitreuse. Souvent enfin, l'extrémité libre devient vert foncé, très polychroïque, elle possède alors fréquemment les propriétés optiques de l'œgyrine.

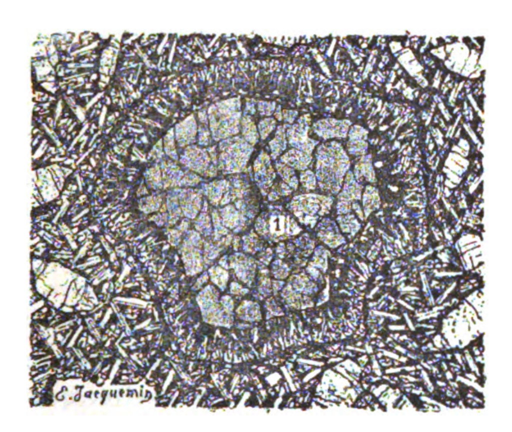


Fig. 1. — Enclave de quartz (1) dans le basalte de la coulée du Tartaret, avec zone de verre et de microlites d'augite.

La figure 1 et la figure 1 de la planche I représentent des exemples très caractéristiques de ces faits, connus depuis longtemps. De bons exemples en seront décrits dans les *basaltes* et les *labradorites* de Thiézac, Cliergue, Langeac et d'un grand nombre d'autres points du Plateau Central de la France, de l'Eifel, de Thuringe, de Silésie, de l'île de Saba, de Syrie, du pays des Somalis, etc.; dans les *andésites augitiques* de Volvic, du Pariou, du Puy en Velay; dans les *andésites augitiques* passant aux *téphrites* et dans les *téphrites* franches des environs de Niedermendig, du Kaiserstuhl, du Taunus, de l'Habichtswald; dans les *limburgites* de l'Alsace, du Kaiserstuhl, de l'Habichtswald; dans les *néphélinites* du Kaiserstuhl; dans les *leucitites* de l'Eifel et du lac de Laach, etc.

Ces microlites d'augite peuvent s'allonger, devenir

filiformes, s'enchevêtrer à la façon des aiguilles de fibrolite et former un tissu serré dans le verre résultant de la fusion de l'enclave (enclaves quartzeuses des labradorites de l'Etna, Pl. I, fig. 5). L'augite est quelquefois accompagnée de magnétite ou même de spinelle (Bernitzgrün en Saxe) ou est remplacée par un pyroxène rhombique (Finkenberg, Siebengebirge).

Il est assez curieux de noter en passant la rareté relative du pyroxène rhombique comme produit récent des enclaves dans les roches basiques, alors que ce minéral se développe en abondance dans les mêmes roches, enclavées par les roches acides.

Il existe de grandes variations dans les proportions relatives de verre et d'augite récents des couronnes périphériques des enclaves. Il peut même arriver que le quartz soit entièrement résorbé et complètement remplacé par de petits noyaux, sortes d'*œillets*, constitués par des cristaux enchevêtrés d'augite (fig. 2 *à gauche en bas*), dont l'origine est facile à reconnaître, grâce aux nombreux termes de passage que l'on rencontre ordinairement entre ces enclaves complètement transformées et d'autres en voie de modification.

Notons enfin que, dans quelques gisements (Plateau Central de la France, Eifel etc.), on voit des baguettes de feldspath triclinique (acide) se former au milieu du verre ou parmi les cristaux de pyroxène (fig. 2 et Pl. I, fig. 1).

Tout ce qui vient d'être dit se rapporte surtout aux enclaves de fragments de quartz; quand l'enclave est constituée par un grès ou un quartzite, chaque grain de quartz fond en général par sa périphérie. Le bloc englobé prend fréquemment alors une structure de retrait columnaire identique à celle du basalte et l'on observe parfois (Otzberg, Hesse) une même fissure de retrait se prolonger de la

roche volcanique à l'enclave. Ces grès vitrifiés ont été désignés par les géologues allemands sous les noms de *buchite* quand ils sont à gros grains et prismés, de *basalt-jaspis* quand ils sont à grains fins.

Au microscope, on voit que le verre résultant de la fusion de ce genre d'enclaves possède souvent une *structure perlitique*, analogue à celle des pechsteins et des rhyolites. Les fissures perlitiques entourent fréquemment des fragments de quartz, incomplètement fondus; elles sont parfois soulignées par des produits secondaires biréfringents.

Dans les parties voisines de la roche basaltoïde, il se produit souvent des concentrations violacées au milieu du verre récent. Il s'y développe des spinelles en très petits octaèdres, simples ou maclés, des cristallites de pyroxène et parfois enfin des cristaux de *cordiérite*, remarquables par la netteté de leurs formes, de leurs macles à six secteurs et de toutes leurs propriétés optiques. (Thiézac, Pl. I, fig. 4, Willenstein et Casseler Grund (Vogelsberg), Nieder Ellenbach et Alpstein près Sontra, Steinberg près Breuna (Habichtswald), Lavantthal, etc.)

Enfin signalons, pour terminer, le développement relativement rare de lamelles de *tridymite* au milieu du verre résultant de la fusion du quartz (Eifel, Etna (Pl. I, fig. 5), Ile de Caminguin) et la formation de *néphéline* autour du quartz (à la place de la zone vitreuse) dans un basalte d'Hirzstein (Habichtswald), normalement dépourvu de néphéline.

La fusion de l'enclave peut être complète, comme on l'a vu plus haut et alors, si l'enclave n'est pas résorbée par la roche volcanique, elle forme une masse vitreuse, généralement verte ou brune, parfois transparente et ressemblant à du verre à bouteille. Ces matières ont été autrefois considérées comme formant des minéraux spéciaux (*tachy-*

lyte et *hydrotachylyte*). Comme on le verra plus loin, des verres analogues peuvent prendre naissance également par fusion complète d'enclaves quartzofeldspathiques. Il est facile, du reste, de les reproduire artificiellement avec toutes leurs particularités en fondant un fragment de grès avec une petite quantité de basalte (M. de Kroutschoff).

Les phénomènes métamorphiques qui viennent d'être décrits ne sont observables le plus généralement qu'au microscope, mais, dans un certain nombre de localités, les enclaves sont séparées de la roche englobante par une cavité produite soit par leur résorption partielle, soit par le dégagement des gaz qui ont accompagné leur dissolution dans le magma basique. Ces cavités sont alors tapissées de cristaux de pyroxène vert (*porricine* des auteurs allemands), de *tridymite*, etc. Plus rarement et surtout dans les environs du lac de Laach, on rencontre en outre deux autres formes de silice de nouvelle génération, le *quartz* et la *christobalite* dont nous aurons à discuter les conditions de formation.

Enfin MM. Diller et Iddings ont décrit des basaltes américains dans lesquels les grains de quartz leur paraissent également répartis dans toute la masse; ce minéral présente les modifications décrites plus haut. Ces savants considèrent le quartz comme ayant cristallisé dans le magma basaltique en même temps que l'olivine, grâce à des conditions physiques particulières. L'objection capitale à opposer à cette théorie, qui sera longuement discutée dans ce chapitre, c'est qu'aucune expérience synthétique ne vient confirmer cette hypothèse et expliquer une telle association minéralogique, tout à fait anormale dans un magma fondu, alors que l'hypothèse d'enclaves est d'accord avec tous les faits étudiés dans ce mémoire.

Plateau Central de la France. — Basaltes. — Les enclaves de grès ou quartzite sont peu nombreuses dans les roches volcaniques du Plateau Central, ce qui s'explique du reste; le sous-sol de cette région volcanique est en effet constitué par des roches éruptives anciennes ou des schistes cristallins, il est relativement pauvre en formations sédimentaires où abondent en général les roches gréseuses.

Les enclaves de quartz que nous avons à y signaler sont, pour la plupart, des restes d'enclaves quartzofeldspathiques appartenant aux roches qui seront étudiées plus loin.

Comme gisement principal on peut citer les environs de Thiézac (Cantal); le basalte porphyroïde y renferme des fragments d'assez grande dimension de quartz et de quartzite de la série des schistes cristallins.

Tantôt ils sont en partie fondus sans qu'aucune recristallisation s'y soit opérée, tantôt au contraire, et cela a lieu surtout pour les petits grains quartzeux, entraînés dans le magma basaltique, l'enclave est entourée d'une zone de verre incolore dans laquelle viennent saillir de longues baguettes, souvent creuses d'augite, implantées sur la paroi basaltique (Pl. I, fig. 1). Cette augite, généralement brune du côté du basalte, est incolore à l'extrémité engagée dans le verre. Celle-ci se colore souvent en vert clair ou même en vert intense; elle devient alors polychroïque; les extinctions sont très faibles par rapport à l'axe vertical dont la trace est négative; la biréfringence augmente beaucoup; l'augite est alors transformée en œgyrine. Le verre est souvent épigénisé en calcite ou en zéolites. Parfois on y observe quelques microlites de feldspath triclinique acide, affectant des formes cristallitiques. La modification endomorphique du basalte ne dépasse pas l'extérieur de la couronne de microlites d'augite.

En outre du gisement de Thiézac, les basaltes du Plateau Central renferment très souvent des enclaves microscopiques de quartz, derniers vestigos d'enclaves granitiques ou gneissiques résorbées.

Je citerai quelques-uns des gisements où on peut les observer avec quelque abondance sans que des enclaves macroscopiques y aient été rencontrées à ma connaissance. Les grains de quartz sont entourés de la couronne de verre et d'augite décrite précédemment, ou entièrement remplacés par des *œillets d'augite*.

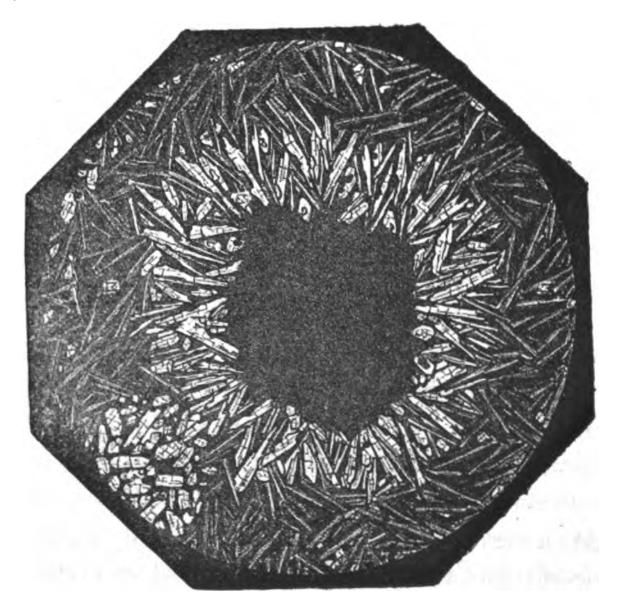


Fig. 2. — Enclave de quartz entièrement fondue avec couronne périphérique d'augite accompagnée d'un peu de feldspath. (Dans la *labradorite* de Queyrières.)

Puy-de-Dôme. Cliergue, coulée du Tartaret près Murols (fig. 1), col de Ceyssat, Le Cheix près Besse, etc.

Cantal. Mont Gébroux, Fraisse-Bas, Polminhac, environs d'Albepierre, entre ce village et celui d'Auzolle, etc.

Haute-Loire. Langeac (près la gare), les Estreys, Orgues de Denise, Calvaire de Queyrières (il existe un peu de feldspath triclinique et de biotite accompagnant l'augite dans la zone vitreuse), scories de labradorites de La Besseyre. Je dois à M. Boule les enclaves provenant de la plupart de ces gisements ; la fig. 2 est empruntée à sa *Description géologique du Velay* [1].

Ardèche. Le basalte porphyroïde du massif des Coirons (Aubenas, Rochesauve, Rochemaure, etc.), renferme des enclaves de quartz, offrant les mêmes modifications que celles des gisements précédents. Dans certains échantillons, j'ai trouvé un grand nombre de ces enclaves microscopiques dans une même lame mince. Le verre résultant de la fusion du quartz est toujours très zéolitisé.

Andésites augitiques. — *Puy-de-Dôme*. La coulée de la Nugère est constituée par une roche gris noir, poreuse, très activement exploitée à Volvic comme pierre de construction. Dans les énormes carrières qui y sont ouvertes, on trouve fréquemment des enclaves de roches anciennes; elles se trouvent surtout, d'après M. Gautier, qui en a recueilli un certain nombre d'échantillons, dans la partie la plus compacte de la coulée.

La roche de Volvic est une andésite augitique à hornblende dans laquelle M. Michel Lévy a décrit en outre du péridot microlitique [2].

Les enclaves de roches anciennes que j'ai eu l'occasion d'examiner sont constituées par des morceaux de quartz très abondants, des fragments d'orthose, etc., que je décrirai plus loin.

Les enclaves de quartz se comportent dans ces andésites

1. *Bull. serv. carte géol. France*, n° 28, t. III, 1892.
2. *C. R.*, 12 mai 1890 et *Bull. Soc. géol.*, 3e série, XVIII, 725, 1889, 1890.

basiques comme dans les basaltes; la couronne périphérique d'augite est mince, les microlites pyroxéniques sont souvent directement appliqués contre le quartz. Parfois ce dernier est fissuré et rempli alors de traînées feldspathiques confusément cristallines et renfermant des houppes ou flammèches de sillimanite. Le quartz est riche en inclusions gazeuses, et liquides à bulle mobile. Ces dernières sont dues au remplissage par des liquides des inclusions gazeuses formées au moment de l'englobement du quartz par le magma andésitique. Elles diffèrent des inclusions liquides habituelles du quartz par leur extraordinaire abondance, leur distribution sans ordre dans le minéral; elles sont du reste identiques à celles que nous étudierons dans les enclaves d'orthose où elles se sont produites dans des conditions identiques.

Les andésites du Pariou renferment fréquemment des enclaves granitiques se comportant comme celles de Volvic. J'ai recueilli au col des Goules, sur le bord de la route, des fragments d'andésite criblés de grains de quartz et de feldspaths. Dans ces derniers, les inclusions gazeuses et liquides à bulle mobile sont extraordinairement abondantes. Dans quelques échantillons, ces fragments étrangers sont tellement nombreux qu'ils semblent constituer un élément porphyrique de la roche.

Haute-Loire. Les andésites augitiques à hornblende (résorbée) des environs du Puy sont bien connues pour leurs enclaves de zircon; elles renferment aussi des enclaves microscopiques de quartz qui se comportent comme celles des basaltes.

Il en est de même de celles que l'on trouve dans les andésites augitiques du Moulin-Beraud, à l'est de Monastier. Dans un échantillon que m'a communiqué M. Boule, la double couronne est fréquente autour du quartz. Par

places, on observe des enclaves entièrement résorbées; le pyroxène forme des paquets noyés dans un verre riche en microlites feldspathiques (peu ou pas maclés suivant la loi de l'albite), parfois disposés en gerbes ou en sphérolites. On constate l'existence de beaucoup de lamelles d'ilménite. Il est possible que ce feldspath soit dû à l'introduction d'un peu de verre andésitique dans le produit de la fusion du quartz. Peut-être aussi l'enclave résorbée était-elle en partie feldspathique.

Provence. — Le *basalte* d'Ollioules contient des enclaves de quartz présentant les modifications habituelles.

Vosges. — M. Vélain m'a remis des échantillons de grès triasiques, englobés dans la *néphélinite* d'Essey-la-Côte (Vosges), ils sont partiellement fondus et leur verre renferme des microlites d'augite au voisinage de la roche éruptive. Les enclaves de ce gisement sont d'une étude difficile à cause de leur profonde zéolitisation.

Le *basalte* de Reichshofen, la *limburgite* de Reichenweier (Alsace) renferment des enclaves de quartz, plus ou moins fondues en un verre tachylitique vert ou brun, contenant des cristaux d'augite. M. G. Linck[1] a trouvé en outre dans le dernier de ces gisements des enclaves de schistes et de calcaires.

Kaiserstuhl. — La *limburgite* de Limburg près Saspach, les *téphrites* et les *néphélinites* qui les accompagnent et celles des divers autres gisements du Kaiserstuhl renferment fréquemment des enclaves de quartz, entourées de la zone de verre et de microlites d'augite. Dans la *limburgite*, cette zone vitreuse est incolore et se distingue très nettement du verre brun foncé de la roche englobante.

1. *Mittheil. d. Commission Geol. Landesuntersuch. von Elsass-Lothringen*, Bd., I, 51-62, 1887.

Prusse rhénane. — *Eifel.* Les Maare de l'Eifel renferment en quantité considérable des blocs projetés de roches quartzifères dévoniennes (grès, schistes argilo-quarzeux, etc.), parfois englobés dans des fragments de roches volcaniques.

Les modifications des roches exclusivement quartzeuses de cette région ne présentent rien de bien spécial. Citons seulement ici l'existence d'enclaves de quartz dans une *leucitite* à olivine et hornblende de la Pulver Maar, près Gillenfeld, dans lesquelles la zone périphérique est constituée, non par du verre, mais par de la *tridymite*, en lamelles imbriquées : çà et là, on trouve au milieu d'elles des grains clairsemés d'augite.

Région du lac de Laach. Les roches volcaniques basiques du lac de Laach sont très riches en enclaves variées qui seront étudiées dans les divers paragraphes de ce chapitre. Je ne m'occuperai ici que des enclaves exclusivement quartzeuses.

Les coulées les plus riches en enclaves sont celles qui descendent du Bellenberg d'Ettringen et du Cottenheimer Büden, et particulièrement celle du Winfeld, au nord du cratère et celle qui va à l'ouest et qui est traversée par la route d'Ettringen à Mayen. Aux environs de la ville de Mayen, à Winfeld, Ettringen, Hochsimmer et Niedermendig, de grandes carrières sont ouvertes dans la lave poreuse, exploitée comme pierre à meules : ces enclaves peuvent y être ramassées par milliers.

J'ai recueilli moi-même, en 1891, un très grand nombre d'échantillons dans ces divers gisements. Je dois à l'obligeance de MM. Lehmann et Rosenbuch une série d'échantillons provenant de ces mêmes localités.

La lave de Mayen, Niedermendig, etc., est noire, poreuse ; elle constitue une andésite augitique. Elle est en

effet formée par un magma microlitique très riche en magnétite et augite et contenant un feldspath triclinique s'éteignant sous de petits angles dans la zone de symétrie. Les grands cristaux du stade intratellurique sont constitués par de l'augite très zonée (souvent verte au centre et d'un brun violacé à la périphérie), de grands cristaux de hornblende résorbés et remplacés par des produits ferrugineux, de l'apatite, etc. L'olivine est rare dans les échantillons que j'ai étudiés. Par places, il existe en outre de la néphéline ou de la leucite, la roche est alors une *téphrite* ou une *leucotéphrite*.

Depuis longtemps les enclaves de ces gisements ont appelé l'attention des géologues [1], mais c'est à M. J. Lehmann [2] que l'on doit la connaissance des remarquables phénomènes de recristallisation qui accompagnent la destruction de ces enclaves et notamment la formation à leurs dépens de quartz, de pyroxène, de tridymite qui tapissent les cavités formées par la résorption des enclaves.

M. Lehmann a fait voir en outre que plus on s'éloigne du point d'origine des coulées, moins les enclaves deviennent nombreuses et plus elles sont modifiées par la fusion ; loin du point de sortie de la lave les enclaves de quartz seules subsistent. Cette observation n'est pas particulière aux gisements rhénans, elle est générale ; les causes de ce fait sautent assez aux yeux pour qu'il soit inutile d'insister davantage.

La nature des enclaves de cette région et les modifications qu'elles présentent étant, en général, les mêmes, quelle que soit la localité où on les recueille, dans les divers

1. Von Dechen, *Laacher See*, 1864. — E. Mitscherlich, *Königl. Akad. der Wissens. zu Berlin, herausgegeben von J. Roth*, 1865. — Wolf, *Zeitschr. d. d. geol. Gesells.* Bd., XIX, 1867.

2. Lehmann, *Verh. d. natur. Vereins d. pr. Rheinlande und Westfalens.* Bonn, 1874 et 1877.

chapitres de ce travail, j'étudierai successivement toutes les enclaves que j'ai eues à ma disposition sans les séparer par ordre de gisement.

Les enclaves exclusivement quartzeuzes de cette région consistent en quartzites dévoniens, ou en fragments de quartz provenant de la destruction de roches granitiques ou gneissiques.

Quand le quartz est en enclaves microscopiques, on observe autour de lui les auréoles de verre et de pyroxène. Quand, au contraire, les enclaves sont de grande taille, elles sont souvent séparées de la roche volcanique par des cavités formées par la dilatation des gaz contenus dans l'enclave ou par la résorption partielle de celle-ci.

Le quartz est généralement fritté, ses inclusions liquides sont souvent vidées : on observe, en outre, tous les degrés possibles dans sa fusion.

Les parois des cavités sont tapissées de jolis cristaux d'augite verte (*porricine*), associés à des lamelles de *tridymite* et parfois aussi (Mayen, Niedermendig) à des cristaux de quartz que nous trouverons en grande abondance, formés aux dépens des enclaves quartzofeldspathiques.

Ce quartz, décrit pour la première fois par M. J. Lehmann[1], forme des cristaux très nets, dans lesquels on observe les faces $e^2 (10\bar{1}0)$, $p (10\bar{1}1)$, $e^{1/2} (01\bar{1}1)$, $e^8 (30\bar{3}2)$, $e^{4/5} (03\bar{3}2)$, $e^1 (02\bar{2}1)$, $e^5 (20\bar{2}1)$: ils sont transparents, incolores et intimement associés au pyroxène, le recouvrant, l'englobant ; ils sont aussi recouverts par lui ou par des gouttelettes de verre.

A ce propos, je ferai remarquer que les faces $e^8 (30\bar{3}2)$, $e^{4/5} (03\bar{3}2)$, très rares dans le quartz, ont été récemment décrites par M. Penfield dans les lithophyses des rhyolites

1. *Op. cit.*

du Glade Creek (Wyoming) et dans celle du Yellowstone Park. Il est intéressant de voir ces faces se reproduire dans trois gisements aussi éloignés les uns des autres et dans des conditions de cristallisation un peu comparables.

La *tridymite* offre les formes, les macles et toutes les propriétés habituelles à cette espèce minérale.

Quant à la *christobalite*, je l'ai découverte dans un seul échantillon provenant de Mayen. Un fragment de quartz ayant la taille d'un petit pois est entouré d'une délicate coquille, constituée par des aiguilles de pyroxène entrelacées : elle supporte les petits octaèdres de christobalite. Leurs faces sont creuses, leurs angles arrondis. Ces cristaux, d'un blanc laiteux, sont opaques, mais ils deviennent transparents par immersion dans le baume du Canada. Il est facile alors d'observer leurs propriétés optiques.

Elles sont identiques à celles que M. Mallard a décrites[1] pour la christobalite du Mexique. J'ai examiné comparativement les cristaux de deux gisements[2].

Sur les faces de l'octaèdre, on observe la division en trois secteurs, brouillés à leur jonction ; le centre de la plage est obscur. Chaque section triangulaire s'éteint suivant la bissectrice de l'angle des faces extérieures ; la trace de cette bissectrice est négative.

Dans les sections perpendiculaires à l'axe quaternaire, la disposition en secteurs est moins nette. On aperçoit des enchevêtrements de fines lamelles. Dans les sections les moins biréfringentes, presque toujours éteintes en lumière parallèle, on constate en lumière convergente que la plaque est perpendiculaire à une bissectrice négative avec écartement d'axes variable, mais pouvant atteindre 40° (2 E). Ces faits vérifient l'opinion de M. Mallard sur le

1. *Bull. soc. min.*, XIII, 182, 1890.
2. *Bull. soc. min.*, XIV, 185. 1891.

réseau probablement rhombique de la christobalite à symétrie extérieure pseudo-quadratique, pseudo-cubique.

La christobalite n'était jusqu'à présent connue que dans l'unique gisement de San Christobal (Mexique). Le gisement de Mayen est particulièrement intéressant, à cause de l'association anormale des trois formes de silice (*quartz*, *tridymite*, *christobalite*).

Une partie de la tridymite, du pyroxène et la christobalite s'est évidemment produite par sublimation, grâce à l'action minéralisatrice de la vapeur d'eau, emprisonnée par la lave en même temps que l'enclave.

Quant au quartz, à une partie de la tridymite et du pyroxène, ils semblent s'être formés par voie ignée, ainsi que l'attestent les particules vitreuses qu'ils englobent ou qui les recouvrent. Leur cristallisation a dû se produire aux alentours de 1000°, puisqu'on trouve intimement associés le quartz et la tridymite qui ne peuvent se produire, l'un, qu'au dessous, l'autre, qu'au dessus de cette température, à moins, toutefois, que la vapeur d'eau et la pression n'aient modifié les conditions normales de formation de quartz.

Quoi qu'il en soit, l'association de ces trois formes de silice est un des faits les plus intéressants que j'ai eu l'occasion de constater dans ce travail.

Les *néphélinites* d'Hannebacher Ley, dans la même région, ont fourni à M. J. Lehmann des enclaves de quartz et de grès dévoniens en partie fondus et recristallisés sous forme de quartz et de tridymite. Ce savant y a observé[1] les mêmes formes qu'aux environs de Mayen, avec en plus des cristaux offrant la base a^1 (0001) qui, on le sait, est extrêmement rare dans le quartz. Grâce à l'obligeance de M. Lehmann, j'ai pu examiner un échantillon de ce quartz.

1. *Op. cit.*, 1877.

Il est laiteux, la zone récente au contraire, est parfaitement claire. On y distingue des cristaux de quartz, remarquables par leurs pointements rhomboédriques aigus. Les sections transversales, hexagonales, permettent de vérifier les propriétés optiques du quartz.

Ces petits cristaux se groupent en grand nombre, s'accolant et s'orientant sur le cristal ancien. A peu de distance de celui-ci, ils sont mélangés à de la tridymite, que l'on reconnaît à sa structure lamellaire, à sa réfringence et à sa biréfringence plus faibles que celles du quartz : elle renferme en abondance de grosses bulles gazeuses. Toutes les cavités et fissures du quartz sont remplies par des minéraux récents, accompagnés par du verre incolore et des aiguilles de pyroxène.

Les *leucitites néphéliniques* de Korretzberg, près de Plaidt, renferment des enclaves de quartz (riches en inclusions gazeuses), entourées de la couronne d'augite habituelle. Elles sont toutefois intéressantes à cause des phénomènes endomorphes de la roche volcanique.

Au contact de l'enclave, la leucitite, normalement dépourvue de feldspath, perd sa leucite et sa néphéline ; il se forme de grandes plages d'un feldspath acide qui englobe un grand nombre de microlites ou de grands cristaux cristallitiques d'augite jaune d'or. On observe, en outre, de beaux cristaux de pseudobrookite et des spinellides. Le pyroxène qui entoure le quartz est également jaune d'or ; il est identique à celui des enclaves des andésites de l'Aranyer Berg.

Les *basaltes* du Roderberg, près Bonn, englobent de nombreuses enclaves de grauwacke dévonienne et de grès argileux tertiaires. M. J. Lehmann a bien voulu m'envoyer plusieurs échantillons de ces derniers qu'il a décrits[1]. Ils sont

1. *Sitzungsber. niederrhein. Gesell. Bonn.* 1885. 303.

plus ou moins fondus et les grains de quartz anciens sont disséminés dans un verre riche, au contact du basalte, en cristallites pyroxéniques et parfois en petits cristaux rhombiques affectant des formes d'olivine.

Siebengebirge. J'ai examiné des échantillons de grès englobés dans le *basalte* du Finkenberg, près Bonn. Ces enclaves sont exclusivement formées de grains de quartz qui tous ont fondu à leur périphérie en un verre incolore, renfermant une quantité prodigieuse de fines aiguilles d'hypersthène. Parfois ces dernières prennent d'assez grandes dimensions pour que l'on puisse vérifier leurs propriétés optiques. Eu égard à la faible biréfringence de ce minéral, les petits cristaux n'agissent pas sur la lumière polarisée. Le polychroïsme est net dans les teintes vertes (suivant n_g) et brun clair. L'extinction est longitudinale, le signe de l'allongement positif.

Ces zones vitreuses rappellent tout à fait la pâte des trachytes hypersthéniques d'Arménie que j'ai décrits récemment [1].

Au contact immédiat du basalte, le verre est parfois brunâtre et se charge de lamelles indistinctes de feldspath. Quant au basalte, sur une largeur de quelques dixièmes de millimètre, il se modifie par perte de son élément ferrugineux : ses microlites feldspathiques deviennent en outre plus acides.

Dans un autre échantillon, les modifications sont moins intenses, le quartzite est à peine fondu, le verre ne renferme pas de microlites, le contact avec le basalte est effectué par une zone de calcite (épigénisant sans doute du verre). Au contact du basalte, on observe un buisson d'aiguilles d'augite verdâtre.

1. *Bull. Soc. géol.*, 2e série, XIX, 742, 1891.

M. Bleibtreu a décrit[1] de nombreuses enclaves de quartz, de grès et d'argile provenant de ce gisement; les phénomènes de fusion y sont plus intenses que dans mes échantillons. L'augite souvent verte se produit en abondance au contact immédiat de l'enclave, puis de l'ilménite (l'auteur décrit avec doute ce minéral comme hématite) et du feldspath mélangé d'ilménite et de biotite. Enfin ce savant a trouvé dans des druses des cristaux récents de quartz, d'augite, etc., semblables à ceux de Niedermendig.

Les enclaves quartzeuses des basaltes du Pétersberg présentent les mêmes particularités. Celles de Weilberg, de Dächelsberg sont plus pauvres en produits cristallisés. Dans une enclave d'Obercassel que m'a donnée M. J. Lehmann, on observe des filonnets de verre brunâtre à structure fluidale riche en aiguilles d'augite; c'est là du verre basaltique injecté au milieu des grains de quartz et, selon toute vraisemblance, acidifié par son mélange avec le produit de leur fusion. Le contact de l'enclave et du basalte se fait par une large zone de gros microlites d'augite. Le quartz est extrêmement riche en inclusions gazeuses.

Taunus. — La *téphrite à olivine* de Naurod près Wiesbaden contient des enclaves de quartz décrites par M. Sandberger[2]. Elles présentent les modifications habituelles.

Hesse. — Les *néphélinites* d'Otzberg, près Lengfeld contiennent en grand nombre des enclaves de grès triasique[3], en partie fondu et ayant pris, par refroidissement, une structure columnaire (*buchite*). Souvent on

1. *Zeitschr. d. d. geol. Gesell*, XXXV, 489, 1883.
2. *Jahrb. geol. Reichanst*, XXVIII. 3 q. 1883, et *Verhandl*, 1884, 17.
3. Chelius, *Notizbl. Ver. f. Erdkunde zu Darmstadt.* 1887, IV.

voit une même fissure de retrait se prolonger de la roche volcanique dans l'enclave.

En lames minces, on constate que les grains de quartz non fondus sont englobés dans une matière vitreuse incolore au milieu de laquelle se trouvent des trichites et parfois des microlites d'hypersthène. Ce verre présente de très nombreuses *fissures perlitiques* qui, généralement, suivent les contours des grains de quartz subsistant : ces derniers sont riches en inclusions gazeuses. Par places, au contact immédiat, le verre devient brunâtre et il s'y développe une grande quantité de microlites pyroxéniques (*hypersthène* et *augite*).

Les *néphélinites* du Rossberg, près Rossdorf, sont célèbres par leurs enclaves de grès.

J'ai recueilli les échantillons étudiés ici, de même que ceux du gisement précédent, dans une excursion faite sur les indications des professeurs Chélius et Andrée.

Ces enclaves sont parfois entièrement transformées en masses vitreuses brunes ou verdâtres que l'on a longtemps considérées comme constituant des espèces minérales définies (*tachylyte*, *hydrotachylyte*.) Elles contiennent parfois des fragments de quartz imparfaitement fondus, ainsi que des produits recristallisés (augite, spinellides, etc.), surtout abondants à leur contact avec la roche volcanique. Les produits secondaires abondent (calcite, aragonite, zéolites, etc.).

M. de Kroutschoff a décrit en détail ces enclaves ; il y a décrit des inclusions vitreuses secondaires dans le quartz non fondu, et dans un échantillon il a signalé l'existence de *tridymite* et de *quartz* de nouvelle formation, accompagnés de microlites d'augite[1].

1. *Bull. Soc. minér.*, VIII, 70, 1885, et *Tschermak's Miner. Mittheil*, IV, 473, 1882, et VII, 302, 1885. Voy. Chelius. — *Erläuter. zur geol. Karte d. Grossherz. Hessen.* — *Blatt Rossdorf*, 1886.

Il a en outre reproduit les diverses particularités de ces verres en fondant ensemble des grès et des roches basaltiques.

Dans cette même région, j'ai recueilli des résidus d'une fabrique de briques. Dans ces briques trop cuites, on trouve des fragments de néphélinite, des grains de quartz cimentés par un verre brunâtre extrêmement riche en microlites et en cristallites d'augite. Par suite de la fusion partielle des grains de quartz, le verre a pénétré par place ce minéral et, au premier abord, l'augite qui s'y est développée semble se trouver dans le quartz lui-même. Il suffit de mettre alternativement et très lentement au point les faces supérieure et inférieure de la préparation, pour distinguer la petite zone vitreuse renfermant l'augite.

Dans les roches basaltiques de Dolmesberg, de Dietzenbach [1], de Dippelshof, près Darmstadt, de Nierstein [2], MM. Chélius et Lepsius ont décrit des enclaves de grès triasique, analogues à celles des gisements précédents.

Enfin, dans le basalte de Stempel, près Marburg, M. Max Bauer [3] a signalé récemment des enclaves de quartz à gros grains (*buchite*) ou à grains fins (*basaltjaspis*), offrant les modifications accoutumées. Quelques échantillons sont remarquables par l'abondance de l'apatite.

Les basaltes de Willenstein et de Casseler-Grund, près Büdingen (Vogelsberg), sont célèbres par les enclaves de grès qu'ils renferment [4]. Ces grès sont en partie fondus (*buchite*), ils présentent alors une structure de retrait columnaire. A leur contact avec le basalte, ils deviennent souvent noirs, le quartz disparaît plus ou moins complète-

1. Chelius. — *Erläuter. zur geol. Karte d. Grossherz Hessen. — Blatt Messel*, 1886, 35-39.
2. Lepsius. — *Mainzer Becken*, 1883, 28.
3. *Neues Jahrb.*, 1891, II. 240.
4. Zirkel. — *Neues Jahrb.*, 1872, 9, 1881, I. 120. 1891, I, 109.

ment et il se forme une grande quantité de petits cristaux de cordiérite souvent accompagnés de spinellides et de cristallites pyroxéniques.

J'ai examiné deux échantillons de sables fondus, englobés par les basaltes de Nieder-Ellenbach et de Alpstein près Sontra; ils m'ont été confiés par M. Zirkel. Ils sont constitués par des grains de quartz noyés dans le verre brunâtre résultant de la fusion de l'enclave et de son mélange avec un peu de verre basaltique. Dans ce verre se développent, en très grande abondance, de petits prismes hexagonaux de *cordiérite* incolore. Ils sont accompagnés de très petits octaèdres verts de spinelle (Nieder-Ellenbach) et, par places, de microlites de pyroxène qui sont surtout abondants dans les parties foncées, riches en verre basaltique.

Habichtswald. — M. Rinne a décrit[1] des enclaves de grès dans les *basaltes* et les *limburgites* de quelques gisements situés entre Cassel, Göttingen et Hanovre.

Le basalte de Steinberg près Breuna coupe le muschelkalk et englobe des fragments de grès bigarrés. Dans l'échantillon étudié, le basalte injecte le grès. Le verre des veinules contient des trichites et des cristallites d'augite et de magnétite entourés par une bordure de verre incolore. En certains points, on observe de longues aiguilles d'apatite polychroïque et peut-être de wollastonite maclée.

D'après un travail récent de M. Zirkel[2], le minéral indiqué avec doute comme wollastonite par M. Rinne serait de la cordiérite. M. Zirkel a bien voulu m'envoyer un fragment d'une enclave de ce gisement. Dans les concentrations brunes, j'ai constaté en effet l'existence d'un

1. *Sitzungsber. d. k. p. Akad. d. Wissens. Berlin*, XL, VI, 1025, 1889.
2. *Neues. Jahrb. Bd I.*, 112, 1891.

très grand nombre de petits cristaux de cordiérite offrant avec la plus grande netteté les macles à six secteurs.

Les *limburgites* de Weissholz, du Desenberg, du Häuschenberg, du Hahn et du Lotterberg renferment des enclaves de quartz entourées de la couronne habituelle d'augite. Ce dernier minéral est moins coloré que celui du magma volcanique. L'enclave fournit en dedans de la couronne d'augite une zone vitreuse incolore, se teintant parfois en violet par mélange avec le verre extérieur.

M. Otto Fromm signale[1] des enclaves microscopiques de quartz dans un certain nombre de *limburgites* et *basaltes* de l'Habichtswald (Helfenstein, Habichtstein) offrant les particularités habituelles. Dans le basalte d'Hirzstein près Elgeshausen, la couronne de verre est remplacée par de la néphéline et de l'ilménite lamellaire.

Thuringe. — M. Bücking a trouvé[2] des enclaves de grès (*buntsandstein*) dans le *basalte* de Hundskopf près Salzungen. Les grains de quartz sont entourés des zones habituelles de verre et d'augite.

La roche éruptive de Schwarzenfels renferme un verre de couleur claire, attaquable aux acides, en même temps qu'un autre verre brun inattaquable, riche en cristaux d'augite : il est sans doute le résultat de la résorption d'enclaves quartzeuses.

Saxe. — Dans les enclaves de quartz et de schistes argileux des *néphélinites* de Bernitzgrün, M. Beck signale[3] des *spinelles* accompagnant l'augite dans la zone vitreuse habituelle.

Silésie. — Les enclaves quartzeuses du *basalte* de

1. *Zeitschr. d. d. geol. Gesells.* XLIII, 65, 1891.
2. *Jahrb. preuss. geol. Landesanst.* 1880, 167.
3. *Section Adorf.* 1884, 25.

Brechelsberg près Striegau, étudiées par Trippke[1], se comportent comme celles du Plateau Central de la France. Dans les enclaves de grès de Geiersberg, près Taschendorf, les mêmes phénomènes s'observent. A Wolfsdorf, près Goldberg, la zone vitreuse périphérique est zéolitisée comme dans les enclaves des *basaltes* de Lähnhaus, près Lähn : Trippke signale la transformation de l'augite en *amphibole* (peut-être est-ce plutôt en *œgyrine*).

Styrie. — Les *basaltes* de Kapfenstein, près Gleichenberg, renferment, d'après M. Hussak[2], des enclaves de quartz riches en inclusions liquides et entourées de couronnes d'augite et de verre.

Carinthie. — M. Prohaska a décrit des enclaves de quartz et de schistes argileux dans les *basaltes* du Lavantthal. Elles sont remarquables par le développement de la cordiérite. (Voy. page 53.)

Toscane. — Je dois à l'obligeance de M. Vélain un fragment de quartz de 3 centimètres de plus grande dimension enclavé dans le *basalte* de la route de Ricorsi à Radicofani. Le quartz, à peu près dépourvu d'inclusions, est recouvert à son contact avec le basalte par une croûte continue de petits microlites d'augite, implantés normalement à sa surface. Cette croûte augitique est séparée du basalte par une zone d'environ 2 millimètres d'un verre brunâtre, riche en longs cristaux d'augite, à formes nettes, disposés sans ordre et mélangés de quelques microlites de feldspath triclinique à extinction longitudinale.

Etna. — M. Fouqué m'a remis une enclave quartzeuse, recueillie par Silvestri dans une *labradorite à olivine* de l'Etna et décrite autrefois par ce savant italien[3].

1. *Zeitsch. d. d. geol. Ges.*, XXX, 153, 1878.
2. *Ber. Wiener. Akad. Wissensch.*, I, 226, 1880.
3. *Atti della Accad. Giœnia. Catania* (3), XVII, 167, 1883. Voir aussi G. Basile, *id.* 1886.

Cette enclave est formée par un grès très fritté ; les grains de quartz, en partie fondus, sont réunis par un verre incolore ou brunâtre au contact du basalte. Ce verre renferme une très grande quantité de fines aiguilles d'augite qui, au lieu de former comme d'ordinaire des couronnes de microlites autour des grains de quartz, s'entrecroisent, s'enchevêtrent à la manière des aiguilles de sillimanite des gneiss granulitiques (Pl. I, fig. 5). Quand les aiguilles deviennent un peu plus grandes, elles affectent la forme de microlites allongés présentant des prolongements fourchus.

Ce pyroxène se trouve surtout dans le verre brun; parfois il est accompagné de cristaux de feldspath ayant émigré de la labradorite. Dans le verre incolore, on observe parfois quelques lamelles imbriquées de tridymite.

Ces enclaves proviennent de l'éruption du 22 mars 1883 ; des blocs de quartz de 15 kilog. ont été alors observés par Silvestri. Tout récemment, MM. Duparc et Mrazec ont décrit[1] des bombes du même genre, provenant des éruptions de 1886 et 1892 : dans les échantillons que je dois à l'obligeance de ces savants, les recristallisations sont peu abondantes et le centre de l'enclave, loin du contact avec la labradorite, est uniquement constitué par des grains de quartz (riches en inclusions gazeuses et vitreuses), distribués irrégulièrement dans un verre incolore, à cassures perlitiques, résultant de leur fusion partielle.

Syrie. — M. Bruno Doss a décrit[2] des enclaves de quartzite dans les *laves basaltiques* (perçant les grès crétacés) de la province du Hauran.

Au Tell esch Schaf, sur le versant oriental du Hauran, on trouve dans le basalte de nombreuses enclaves de

1. *C. Rendus*, 10 octobre 1892.
2. *Tschermak's Miner. Mittheil*, VII, 46, 1886.

quartzite de la grosseur d'un œuf de poule qui se séparent facilement de la matière ambiante. Entre les deux, existe une couche mince, vitreuse, jaunâtre. La couronne d'augite brune est formée d'individus disposés sans ordre ou, plus rarement, orientés normalement à la surface du quartzite. Il semble que le quartz aie parfois recristallisé, car on y trouve en inclusions de l'augite semblable à celle du magma. Le verre basaltique injecté dans les fentes du quartzite a des aspects très variés suivant la couleur et l'état de dévitrification. Il renferme : augite, magnétite et feldspath triclinique en proportion variable. De la calcite secondaire remplit les fentes de retrait. Le quartz possède quelques inclusions vitreuses secondaires et une quantité considérable d'inclusions gazeuses (cristaux négatifs). Une enclave de quartz provenant des blocs détachés de Harra montre dans l'augite des cavités allongées à section arrondie ou triangulaire. L'augite présente de l'extérieur vers l'enclave une couleur variant du brun violacé au brun clair.

Sur le versant N. du Abd Mâr, près Salchat, les enclaves de quartzite sont si nombreuses qu'on ne peut casser un bloc de basalte sans en trouver. Le quartz est laiteux, fritté, friable, très riche en cavités à gaz. Le quartzite est formé par une mosaïque de quartz intact dont les éléments sont séparés par un réseau vitreux.

Au sommet de la même montagne, on ne voit plus d'enclaves de quartzite, mais leur place est occupée par de belles druses d'augite.

Pays des Somalis. — Les enclaves de quartz décrites par M. A. Rosival[1] dans les laves *basaltiques* d'Addele

1. Beitrage zur geol. Kenntnis der Ostlichen Afrika. — *Denkschr. des math. Naturwiss. Classe der kais. Akad. d. Wissensch, Wien.*, LVIII, 1891, p. 64 du tirage à part.

Gubo présentent les particularités habituelles dans les zones de verre et d'augite microlitiques.

Philippines. — M. Renard a signalé des enclaves de quartzite dans les *labradorites augitiques* à hornblende et augite (passant aux basaltes) de l'île de Caminguin. La roche est partiellement fondue, et dans la partie intacte, on distingue, au milieu du verre, des cristallites d'augite et des lamelles de tridymite.

Australie. — J'ai eu l'occasion d'examiner une bombe provenant des *projections basaltiques* du mont Eléphant (Victoria). Elle est formée par un grès fondu, à surface vernissée, ne montrant au microscope que des grains de quartz, disséminés en grand nombre dans un verre jaunâtre à structure fluidale nette. Il n'existe pas de recristallisations. Les basaltes en coulée de cette région sont très riches en petites enclaves sporadiques de quartz et de feldspath.

Amérique du Nord. — Les volcans de l'Ouest américain offrent des basaltes remarquables par l'abondance des grains de quartz qu'ils renferment. MM. Diller[1] et Iddings[2] qui les ont étudiés, considèrent ces roches comme des *basaltes quartzifères*, dans lesquels le quartz est un élément primaire, antérieur à l'olivine. J'exposerai tout d'abord les faits d'après les savants américains.

Le *basalte* à hypersthène du Cinder Cone (Lassen Peak, Volcanic Ridge, N. Californie) renferme des grains arrondis ou anguleux de quartz (possédant un petit nombre d'inclusions gazeuses, liquides et vitreuses) en même temps que des fragments irréguliers de feldspaths anciens (criblés d'inclusions vitreuses) en voie de résorption.

1. *Amer. Journ. of Sc.*, XXXIII, Janv. 1887, et *Bull. U. S. Geol. Survey*, n° 79, 1891.
2. *Amer. Journ. of Sc.* XXXVI, 208, 1888, et *Bull. U. S. Geol. Survey*, n° 66, 1890.

Ces feldspaths diffèrent nettement de ceux qui abondent comme éléments normaux dans la roche. Le quartz est généralement entouré par les zones habituelles de verre et de microlites d'augite. Il est également abondant dans les produits de projection, et, dans ceux-ci, M. Diller décrit des fragments ponceux blancs, contenant des grains de quartz et de feldspath imparfaitement fondus. L'auteur, tout en admettant que le quartz du basalte est indigène, ne se décide pas sur l'origine de ces scories blanches qui ressemblent, à s'y méprendre, d'après sa description, aux granulites scorifiées de la Denise.

Dans les basaltes du Rio-Grande Cañon (Tewen, Montains, New-Mexico), le quartz, d'après M. Iddings, est dépourvu d'inclusions (sauf celle d'un zircon dans un échantillon) ; les individus arrondis ou anguleux sont parfois formés de deux grains accolés. Dans les projections, on a trouvé des nodules à olivine, du quartz et du feldspath (d'après M. Diller).

Des basaltes semblables, mais avec moins de quartz, s'observent dans la même région au mont Taylor et dans ses environs, près d'Eureka (Nevada), dans le Santa Maria Basin (Arizona) [les inclusions sont rares dans le quartz, ce sont des inclusions gazeuses, des cristaux de zircon, d'apatite], dans l'Utah, à Ice Cave Buttes et Tabernacle Crater ; dans le Colorado, aux environs de Crescent et de Whitehead Peaks, de Camel Mountains et de Elk Head Creek près Hayden.

Dans les basaltes de ce dernier gisement décrit par M. Iddings, les inclusions gazeuses sont assez abondantes dans le quartz, on y trouve en outre en inclusions du zircon, de l'apatite. Les cristaux de quartz sont souvent formés de deux ou trois individus accolés.

M. Iddings admet que la cristallisation du quartz a dû

se produire en profondeur « par la sursaturation du magma, grâce à des changements de température ou de pression accompagnés par l'action minéralisatrice de la vapeur d'eau, absorbée par le magma ». L'auteur ajoute que la couronne du quartz montre que les conditions dans lesquelles ce minéral a cristallisé n'étaient pas les mêmes que celles qui ont présidé à la fin de la cristallisation de la roche.

M. Diller se range à la même manière de voir et fait remarquer en outre que dans la région du Cinder Cone, il n'existe pas (sauf une dacite peu abondante) de roches quartzifères et que, du reste, le basalte du Cinder Cone étant le seul de la région à renfermer du quartz, si ce dernier y était à l'état d'enclaves, il devrait se rencontrer dans les autres basaltes de la région, ce qui n'a pas lieu.

Les principaux arguments invoqués par MM. Iddings et Diller peuvent se résumer de la façon suivante :

1° Distribution uniforme de quartz dans le basalte;

2° Analogie des grains de quartz de ces basaltes avec ceux des porphyres et des rhyolites (tendance à la forme bipyramidée, inclusions vitreuses);

3° Absence de roches quartzifères en quantité notable dans la région considérée (Cinder Cone);

4° Existence du quartz au Cinder Cone alors que ce minéral manque dans les autres basaltes de la région.

Remarquons immédiatement, d'accord avec les auteurs précités, que l'existence des couronnes d'augite et de verre autour des grains de quartz prouve que ce quartz n'est pas secondaire, mais n'apprend rien au sujet de son origine. Les modifications du quartz ne dépendent pas en effet de son mode de formation, mais de la différence de composition chimique existant entre lui et le magma qui l'englobait au moment de l'épanchement volcanique.

Pendant le refroidissement du basalte, les grains de

quartz, qu'ils aient été formés dans le magma, ou qu'ils aient été englobés après coup par celui-ci, ont été évidemment soumis aux mêmes conditions, et par suite, ont dû se comporter de même.

L'égale distribution du quartz dans le basalte est un argument grave, mais elle paraît imparfaitement établie par les auteurs. Les photographies et dessins accompagnant leurs mémoires représentent des échantillons exceptionnels, dans lesquels la quantité de quartz paraît être telle que leur teneur en silice devrait être supérieure à celle des échantillons dont l'analyse est donnée. J'ai eu l'occasion d'étudier de petits fragments de la roche du Cinder Cone, que je dois à l'obligeance de M. Diller, le quartz n'y est pas plus abondant que dans beaucoup de basaltes à enclaves d'Auvergne. Au col des Goules (Puy-de-Dôme) et aux environs du Puy en Velay (*andésites augitiques d'Espaly*) notamment, il n'est pas rare de trouver des roches basiques dans lesquelles les enclaves de quartz et de feldspath, assez bien calibrées, constituent un élément porphyrique, presque uniformément distribué, sans que pour cela, il soit possible d'élever l'ombre d'un doute au sujet de leur origine étrangère.

Quant à l'analogie du quartz du Cinder Cone avec les grands cristaux de quartz des porphyres et des rhyolites, elle paraît fort discutable. D'après les auteurs, un seul échantillon a présenté l'apparence d'un cristal bipyramidé : ces grains de quartz ont la forme que doivent présenter des fragments de grès ou de roches anciennes, arrondis par la fusion. Quant aux inclusions vitreuses, on sait que, si elles existent normalement dans le quartz des rhyolites elles ne sont pas rares dans les quartz enclavés par les roches volcaniques et dans ce cas, leur origine secondaire n'est plus en discussion.

L'absence, à la surface du sol, de roches quartzifères,

n'exclut pas l'hypothèse d'enclaves. L'étude du Plateau Central de la France que j'ai faite à ce point de vue, montre que des fragments de gneiss à cordiérite, de quartz se trouvent souvent dans des roches volcaniques, là où il n'existe aucun affleurement de roches anciennes, recouvertes qu'elles sont par un épais manteau volcanique.

De même, on trouve souvent côte à côte des coulées dont les unes sont très riches en enclaves, alors que les autres en sont complètement dépourvues, soit qu'en raison des conditions spéciales de leur venue au jour, ces coulées n'en aient jamais eu, soit que leur température, au moment de leur épanchement, étant plus élevée, la résorption des enclaves ait été complète.

Notons en terminant que la présence au Cinder Cone des fragments de quartz et de feldspath acide scorifiés, semble indiquer qu'il existe, dans le sous-sol, des roches anciennes quartzifères dont les derniers restes pourraient bien être constitués par le quartz qui fait l'objet de notre discussion.

De plus, quelles que soient les conditions spéciales que l'on puisse imaginer pour expliquer la cristallisation du quartz dans le magma basaltique fondu, il faut admettre la cristallisation simultanée ou tout au moins presque contemporaine de l'olivine et du quartz : or rien ne prouve la possibilité d'une telle association minéralogique aussi contraire à tous les faits connus.

Les auteurs s'appuient sur la coexistence de la fayalite et du quartz dans les lithophyses des rhyolites du Yellowstone Park, mais cette association n'est pas comparable à celle que nous discutons ici, car, dans ce dernier gisement, ces minéraux ne se sont point formés dans un magma fondu basique, mais sont dûs à l'action de minéralisateurs s'exerçant dans les cavités d'une roche acide.

Du reste, si le quartz était antérieur à l'olivine, au

feldspath et au pyroxène du premier temps de consolidation du basalte, on devrait le trouver parfois en inclusions dans ces minéraux ; s'il leur était postérieur, on devrait rencontrer ces minéraux englobés par le quartz, or rien de semblable n'a jamais été observé.

Quant au quartz régénéré, signalé dans quelques gisements étudiés plus haut, il est drusique et il présente un faciès absolument différent de celui des grains enclavés dans le basalte du Cinder Cone.

Aussi, malgré l'habileté mise par les auteurs à la défense de leur cause, ne puis-je voir dans le quartz des basaltes américains que des enclaves étrangères.

A plus forte raison, ne puis-je suivre M. Diller lorsque, rappelant l'existence du quartz dans quelques roches volcaniques européennes des plus connues à ce point de vue (Auvergne, bords du Rhin, etc.), il émet l'hypothèse que dans la plupart de ces roches, sinon dans toutes, le quartz a cristallisé dans le magma volcanique.

J'espère que la lecture de ce chapitre ne laissera aucun doute sur l'origine étrangère de ces enclaves.

Antilles. — Parmi les roches recueillies à l'île de Saba par Ch. Sainte-Claire-Deville, j'ai trouvé[1] des *labradorites à hornblende*, riches en enclaves de grains de quartz. Les couronnes augitiques manquent souvent.

Peut-être faut-il rapporter à des enclaves du même genre le quartz signalé par Wolf[2] dans les roches basiques d'Ansango, Pinantura, Achapallos, Riobamba, Mojanda et autres localités de l'Equateur.

1. *C. Rendus*, CXI, 71, 1890.
2. *Neues Jahrb*, 1874, 383.

II. — Enclaves d'argiles et de schistes argileux.

Résumé et conclusions. — Les exemples d'enclaves d'argiles et de schistes argileux dans les roches basaltoïdes ont dû être cherchés dans les gisements étrangers au Plateau Central de la France; je n'en connais point en effet dans cette région.

Les enclaves de ce groupe sont généralement cuites, recouvertes d'un vernis, produit par leur fusion périphérique, ou même complètement fondues. Dans ce cas, elles affectent la forme de fragments gris bleuâtre ou rouge, très durs, qui ont souvent reçu des géologues allemands le nom de *basaltjaspis*.

L'examen microscopique montre que les phénomènes de transformation sont en général assez simples. Si la roche initiale renfermait des grains de quartz, ceux-ci se comportent comme dans les enclaves de grès ou quartzites. A proximité de la roche volcanique, ils s'entourent de microlites d'augite, de spinelle; plus rarement, ils se transforment en tridymite (Pulver Maar).

Très fréquemment, dans la partie argileuse fondue, on voit se produire de petits cristaux de *cordiérite*, souvent accompagnés de spinellides (Falkenlei, Pulver Maar, Dauner Maar, région de Laach, Lavantthal). Deux cas peuvent se présenter : ou bien la cordiérite a pris naissance par le mélange du verre de l'enclave avec la roche volcanique; elle se trouve alors engagée dans un verre plus foncé que celui de l'enclave normale; ses cristaux sont accompagnés d'augite et sont tout à fait comparables à ceux qui ont été décrits dans les enclaves de grès : ou bien la cordiérite a pris naissance dans l'enclave par cristallisation

directe du verre, produit par sa fusion, sans aucune intervention de la roche volcanique.

J'ai fait voir [1] comment, dans les *houillères embrasées*, la fusion sur place des schistes argileux et micacés donnait naissance tantôt à des porcellanites dépourvues de produits cristallins, tantôt à des roches entièrement composées de cordiérite seule, de cordiérite et de pyroxène avec ou sans anorthite, suivant que la composition initiale du schiste permettait ou non la production de ces minéraux.

Les schistes argileux, enclavés dans les roches basaltoïdes, se trouvent le plus souvent dans les mêmes conditions que les schistes dont il vient d'être parlé. La cordiérite est alors produite par simple fusion de l'enclave. Notons que sa formation est liée à l'absence ou à la rareté des alcalis dans la roche modifiée; toutes les fois que ceux-ci sont en quantité notable, il se produit des feldspaths et du pyroxène.

Vosges. — Les *néphélinites* d'Essey-la-Côte et leurs tufs renferment des fragments de schistes argileux, plus ou moins vitrifiés, qui ont été signalés par Delesse [2] et par M. Vélain [3]. Les échantillons que j'ai eu l'occasion d'étudier ne présentaient aucun minéral recristallisé.

Prusse rhénane. — *Eifel.* De même que pour les enclaves quartzofeldspathiques, je n'étudierai ici que les enclaves de schistes argileux de quelques-unes des Maare de l'Eifel, de celles que j'ai plus particulièrement visitées. Ces cratères d'explosion étant creusés dans les roches dévoniennes, on conçoit facilement que les grès

1. *C. Rendus*, CXIII, 1060, 1892.
2. *Ann. Mines*, 5e série, 1857.
3. *Bull. Soc. géol.*, *3e sér.*, XIII, 565, 1885.

et les schistes argileux doivent être très fréquents dans leurs produits de projection. Ils ont été signalés depuis longtemps par tous les auteurs ayant étudié l'Eifel[1]. Un très grand nombre de ces enclaves sont intactes, d'autres au contraire présentent des modifications, ce sont surtout celles qui sont englobées dans les fragments de lave compacte ou qui ont servi de centre aux bombes volcaniques. Je ne m'occuperai que de celles dans lesquelles j'ai observé quelques particularités intéresssantes.

Les scories de *néphélinite* du Falkenlei, près Bertrich, sont riches en fragments de schistes sur lesquels repose la roche volcanique. Ils sont normalement composés de grains de quartz, réunis par un ciment argileux et accompagnés de produits micacés et chloriteux.

Ces enclaves, parfois de grande taille, sont rubéfiées et plus ou moins vitrifiées; les modifications que l'on y observe sont tout à fait identiques à celles des schistes de Commentry modifiés par les incendies des houillères. Les lits quartzeux sont en partie fondus et ne contiennent que peu de produits cristallisés (spinellides, etc.); les lits schisteux au contraire, renferment une très grande quantité de cristaux de cordiérite, accompagnés de spinelle et par place de cristallites d'augite.

Les *néphélinites* qui ont coulé dans la vallée de l'Uess, jusqu'à Bertrich, contiennent des enclaves de quartz, de schistes en partie fondus en un verre violacé. Au contact de l'enclave, ce verre renferme du pyroxène et la néphélinite devient feldspathique.

Parmi les blocs que j'ai recueillis à la Pulver Maar, près Gillenfeld, se trouve un échantillon de *leucitite* à olivine et hornblende verte qui renferme des fragments de grauwacke dévonienne.

1. Von Dechen, Mitscherlich-Roth, etc., *op. cit.*

Ils sont profondément modifiés, bien qu'ayant conservé leur forme. On n'y distingue plus que des grains de quartz englobés par un verre brunâtre très riche en bulles gazeuses et contenant par places de fins cristallites de pyroxène. Dans la roche volcanique, on observe en outre des grains de quartz transformés en agrégat de lamelles de tridymite.

Les tufs renferment en grand nombre des fragments de grauwacke plus ou moins modifiés; dans quelques-uns se trouve de la cordiérite secondaire, identique à celle de Falkenlei.

Les tufs des trois Maare de Daun (Shalkenmehrer Maar, Weinfelder Maar et Gemunder Maar) sont, comme les précédents, riches en blocs de schistes dévoniens. J'y ai observé les mêmes modifications que dans les échantillons des gisements précédents. M. L. Schulte, qui a publié récemment [1] un mémoire sur cette région, n'a pas trouvé de cordiérite de nouvelle formation.

Environs du lac de Laach. Les roches volcaniques des environs de Mayen, Niedermendig, Ettringen renferment en grande quantité des enclaves des mêmes grauwackes dévoniennes.

M. J. Lehmann a décrit [2] déjà leur vitrification plus ou moins complète et la formation de minéraux drusiques dans leurs soufflures ou à leur contact avec la lave.

J'ai étudié un assez grand nombre d'échantillons de ces enclaves; je dois quelques-unes d'entre elles à M. Lehmann, j'ai recueilli les autres en 1891.

Elles sont pour la plupart constituées par des lits de quartz, alternant avec des lits schisteux; les parties quartzifères sont fondues, présentant les diverses particularités

1. *Verhandl. des naturh. Vereins Bonn*, XLVIII, 201, 1891.
2. *Op. cit.*

déjà étudiées pages 28 et suivantes. Quant aux lits argileux, ils sont plus ou moins fondus et au milieu d'eux se développe une quantité considérable de cristaux de cordiérite, accompagnés de spinelle et parfois de cristallites pyroxéniques. Ces cristaux de cordiérite sont tantôt petits, à contours nets, alignés à la suite les uns des autres, tantôt au contraire, très grands et à contours vagues. Ils englobent beaucoup de matière noire; fréquemment, leur couleur bleue et leur polychroïsme sont très nets.

L'analogie des modifications subies par ces schistes avec celles des schistes provenant de l'incendie des houillères de Commentry est encore ici tout à fait frappante. La formation de la cordiérite est certainement indépendante de toute action du magma volcanique.

Dans le basalte du Roderberg, près Bonn, on trouve souvent des enclaves de schistes argileux très quartzifères, dont il a été question page 33.

Siebengebirge. — Le *basalte* du Finkenberg, Petersberg, Honnef, Weilberg, Dachelsberg et d'Obercassel renferment des fragments d'argiles ou schistes argileux calcinés ou vitrifiés (basaltjaspis).

La roche offre l'aspect de porcelaine ou même de verre vert. Au microscope, on constate des fragments de quartz non fondu, englobés par un verre criblé de bulles avec augite, magnétite, spinelle violet, tridymite (?), oligiste [1].

Carinthie. — Les *basaltes* de Kolnitz, dans le Lavantthal, contiennent des enclaves de schistes argileux et de quartzite qui ont été décrites par M. Prohaska [2].

Elles sont riches en cavités tapissées de produits secondaires (dolomie, etc.).

1. Bleibtreu, *op. cit.*
2. *Sitzber. d. k. k. Akad. d. Wissensch. Wien.*, XVIII, 1883.

L'examen microscopique montre dans une masse vitreuse, des grains de quartz en voie de fusion, entourés de spinelles récents et des fragments de schistes gris noirâtres. Ces derniers sont couverts de spinelle vert ou violet en octaèdres souvent accumulés en buisson et de très petits cristaux de cordiérite violacée. Ces derniers sont tantôt isolés et tantôt groupés ; ils augmentent quand le schiste disparaît et quand il est remplacé par du verre. Ils abondent sur le bord des enclaves.

III. — Enclaves de roches quartzofeldspathiques.

Les enclaves quartzofeldspathiques dans les roches basaltoïdes sont les plus nombreuses que j'ai eu l'occasion d'étudier, ce qui s'explique du reste, puisque ce sont les roches de ce groupe qui constituent le sous-sol de la région volcanique du Plateau Central de la France.

Au point de vue minéralogique, elles sont intéressantes en ce qu'elles contiennent souvent des minéraux inconnus en place dans le pays, comme le diaspore (Bournac, Murat), le corindon (environs du Puy, etc.), des minéraux ne se rencontrant ordinairement dans les roches de la région qu'en cristaux microscopiques (zircon des environs du Puy, etc.), ou en cristaux généralement moins intacts (cordiérite des environs du Puy).

Cette abondance de minéraux rares peut s'expliquer soit par l'existence de roches anciennes, exceptionnellement riches à ce point de vue dans le voisinage immédiat de la bouche volcanique qui les a amenés au jour, soit par l'enrichissement des enclaves en minéraux rares, grâce à la résistance de ces derniers à l'action de la chaleur et du magma volcanique.

L'étude comparative des enclaves des projections basaltiques et de celles des roches volcaniques en coulées montre que les roches quartzofeldspathiques, recueillies au milieu des scories rejetées dans les grandes explosions, sont beaucoup plus fondues que celles des tufs ordinaires et des roches compactes, mais en même temps les phénomènes de recristallisation y sont beaucoup moins intenses, en raison de leur refroidissement plus rapide.

Voyons quelles sont les modifications que l'on observe dans ces enclaves. Les minéraux qui les constituent s'attaquent dans leur ordre de fusibilité; par suite, le corindon, le zircon, la sillimanite, le diaspore restent intacts, la biotite et le grenat, au contraire, sont les deux éléments qui fondent les premiers. La biotite est généralement transformée en spinelles d'un jaune violacé ou vert, noyés dans un verre brun (St-Anthème, Pl. II, fig. 9). Ils sont souvent accompagnés de cristaux d'hypersthène (Plantat, Denise) ou de sillimanite (Plantat), plus rarement de cordiérite (Espaly). Le grenat se transforme en hypersthène et en spinelle vert, affectant souvent des formes chondritiques, qui rappellent celles de l'enstatite des météorites (Espaly, le Puy).

Ces modifications s'observent souvent dans des enclaves dont lesfeldspaths ne présentent pas trace de fusion.

Dans le cas extrême, l'enclave est entièrement fondue, transformée soit (Denise) en une ponce légère, ne renfermant plus que les minéraux infusibles ou des traces des minéraux les moins fusibles (quartz, etc.), soit (Orgues d'Espaly, etc.) en une masse vitreuse verdâtre, rappelant parfois le verre à bouteille et tout à fait analogue aux *tachylyte*, et *hydrotachylyte*, qui ont été décrits plus haut comme produit de la fusion complète d'enclaves quartzeuses. Dans les lames minces, on constate que ce verre limpide ne présente souvent aucune trace de recristallisation.

Tous les intermédiaires se rencontrent entre ces enclaves entièrement fondues et les enclaves intactes.

Quand il est possible de suivre les diverses phases de la transformation, on voit tout d'abord les inclusions liquides du quartz se vider, les feldspaths se charger d'une grande quantité d'inclusions gazeuses qui les rendent troubles. Ces inclusions peuvent parfois être remplies postérieurement par des liquides. Enfin dans le quartz et le feldspath se produisent des inclusions vitreuses.

Les clivages des feldspaths s'ouvrent largement et ces minéraux s'égrènent en petits solides rectangulaires qui, peu à peu fondent en un verre incolore (Pardines, Pl. III, fig. 12.) (Montaudou, Pl. III, fig. 9). Plus rarement, on voit les feldspaths fondre en laissant un squelette, affectant la forme des dents d'une scie (Pl. II, fig. 2).

Quand le verre est très acide, quelles que soient les conditions de refroidissement, il ne se produit généralement aucun minéral récent ; on y observe des fissures de retrait rappelant celles des *perlites*. Rarement on voit apparaître de grands sphérolites troubles, négatifs en long, sphérolites feldspathiques tout à fait comparables à ceux des rhyolites (Denise, Murat, bords du Rhin, Pl. II, fig. 3).

Quand la proportion de silice est moins grande, les feldspaths recristallisent et là, de grandes variations peuvent être observées dans la forme des produits récents, non seulement dans des gisements différents, mais encore dans les enclaves d'une même coulée. Cela s'explique du reste, ces recristallisations dépendant non seulement de la composition chimique de la roche fondue, mais des conditions de refroidissement, variables avec la grosseur de l'enclave, sa position dans la coulée, etc.

Lorsqu'il reste des fragments anciens, le feldspath

récent vient s'orienter sur lui, formant généralement de longues baguettes dentelées, fourchues, extrêmement variables de formes (Voy. Pl. II, fig. 6, 7 et 12, et Pl. III, fig. 6 et 8). Il peut se distinguer des cristaux anciens, grâce à sa limpidité et aux divers minéraux récents qu'il englobe.

Dans d'autres cas, les feldspaths récents forment des cristaux indépendants, généralement allongés suivant l'arête $p\ g^1$ (001) (010), souvent creux et montrant des sections transversales carrées (Pl. III, fig. 2) plus ou moins perpendiculaires à la bissectrice négative (ces feldspaths appartiennent généralement à des types acides). Les cristaux s'enchevêtrent parfois, simulant en petit la structure des diabases (Prudelles, Chaux-Montgros). Dans quelques cas (Prudelles), il existe des cristaux de feldspath de plusieurs dimensions et la partie recristallisée affecte la forme d'une roche volcanique à deux temps de consolidation. Enfin souvent, la zone recristallisée est franchement microlitique ou prend une structure variolitique (Pl. III, fig. 1).

D'autres fois, les feldspaths récents ont la forme de trémies (Pl. II, fig. 5 et Pl. III, fig. 11), ou forment de grands sphérolites composés de cristaux bien individualisés se groupant presque toujours autour d'un fragment ancien [Espaly (Pl. III, fig. 8); Thiézac, Winfeld (Pl. II, fig. 3)]. Plus rarement enfin, j'ai observé des recristallisations feldspathiques confuses à la façon de celles de la pâte de certains trachytes; elles se rencontrent surtout dans les enclaves très acides (Pl. II, fig. 4 et 11).

Ces recristallisations feldspathiques sont parfois suffisamment abondantes pour donner lieu à une roche entièrement cristallisée, mais le plus souvent il reste une quantité plus ou moins grande de verre parfois riche en cristallites pyroxéniques ou micacés (Puy de Boueix, Pl. III, fig. 9).

On y rencontre en outre des spinelles, de l'hypersthène, de la sillimanite, provenant de la transformation du mica et du grenat, décrite plus haut, ou formés directement dans le verre; enfin il se produit de l'augite au contact de l'enclave et de la roche volcanique.

En général, le contact des deux roches est net, très cristallin du côté de l'enclave dont les feldspaths cristallisent largement, s'appuyant sur la surface de séparation et englobant en abondance de l'augite en microlites ou en cristaux dendritiques (Cordeloup, Laach, Pl. II, fig. 8), des palmes d'ilménite violacée, des lamelles de biotite ou des cristallites de magnétite.

L'influence du basalte au contact est accusée par la basicité plus grande du feldspath de l'enclave, le développement de l'augite. Celle-ci est généralement plus sodique que celle de la roche volcanique, elle se transforme à sa périphérie en œgyrine verte (Prudelles, Lastic, Petersberg, etc.). Lorsqu'il subsiste des grains de quartz, c'est autour d'eux que se rencontre l'augite, comme cela a lieu dans les enclaves exclusivement quartzeuses des roches basaltoïdes.

Dans quelques cas plus rares, l'enclave fuse dans le basalte, se mélange à lui (Montaudou, Puy de Plantat, Dorgali, Pl. II, fig. 4). La roche volcanique perd son pyroxène, son olivine; son feldspath devient plus acide, il s'oriente postérieurement sur les fragments de l'enclave.

Enfin, plus rarement encore, on voit se développer dans l'enclave fondue, de la cordiérite avec spinelle; cela a lieu toujours dans des enclaves très acides, modifiées par introduction de très peu de verre basaltique. On se trouve alors ramené aux conditions, étudiées dans le paragraphe Ier, à l'occasion de la formation du même minéral dans les enclaves quartzeuses. Le verre est trop acide pour donner

du feldspath et suffisamment magnésien et ferrugineux pour laisser déposer de la cordiérite.

Notons en terminant que, dans plusieurs échantillons, j'ai vu la roche volcanique se modifier au contact immédiat de l'enclave, une *néphélinite* (Bertrich) se charger de grandes plages de feldspath, une *andésite* (lac de Laach) prendre également du feldspath possédant une structure différente de celle du feldspath normal de la roche et d'une façon plus générale, des *basaltes labradoriques* devenir *andésitiques*, sur quelques millimètres.

En résumé, les modifications subies par les enclaves quartzofeldspathiques dans les roches basaltoïdes consistent en une fusion plus ou moins complète, accompagnée, quand les circonstances de gisement le permettent, de recristallisation du verre résultant de cette fusion. L'action de la roche volcanique est généralement légère et ne se fait sentir qu'au contact immédiat de l'enclave.

Les recristallisations présentent beaucoup de variétés locales, mais se produisent toujours de la même façon par simple fusion.

Notons, en dernier lieu, que le verre résultant de la fusion des enclaves de ce groupe est un lieu d'élection des zéolites et particulièrement de la christianite et que dans quelques gisements (*région du lac de Laach*, etc.), les enclaves en partie résorbées sont séparées de la roche volcanique par des cavités plus ou moins grandes, que tapissent de nombreux cristaux récents (quartz, feldspath, pyroxène), tout à fait identiques à ceux qui ont été décrits, page 30, dans les enclaves exclusivement quartzeuses des mêmes régions.

Plateau Central de la France. — Le sous-sol du Plateau Central de la France étant principalement formé

par des gneiss et des roches granitiques, ce sont surtout ces roches que l'on rencontre en enclaves dans les produits volcaniques de cette région.

Dans les *basaltes*, on les trouve aussi bien dans les produits de projection que dans les laves en coulées, bien que, dans ces dernières, elles deviennent d'autant plus rares que l'on s'éloigne davantage du point d'émission de la lave. Dans de nombreux points où je n'ai pas constaté l'existence d'enclaves macroscopiques, l'emploi du microscope permet de distinguer des traces d'enclaves microscopiques en partie résorbées par le magma basaltique.

J'ai déjà décrit plusieurs d'entre elles [1], mais depuis lors, j'ai recueilli de très nombreux matériaux nouveaux qui me permettent d'apporter plus de détails dans cette étude.

Je passerai successivement en revue divers gisements du Puy-de-Dôme (*Chaîne des Puys*, *Mont-Dore*), du Cantal, de la Haute-Loire (*Velay*) et de l'Ardèche (*Coirons*). Il serait facile de multiplier à l'infini les exemples; ceux qui sont décrits ici sont suffisants pour l'étude générale que je me propose de faire.

Je rappellerai que les *basaltes* du Plateau Central sont des basaltes feldspathiques [2], plus ou moins riches en feldspath triclinique microlitique et passant parfois à des limburgites; quelques types renferment de grands cristaux de feldspath du premier temps de consolidation et offrent en outre la structure ophitique; d'autres possèdent de grands cristaux porphyriques d'olivine et d'augite (*basalte*

1. *Bull. des services de la Carte géol. de la France*, n° 11, t. II, p. 27, 1890 et *Bull. Soc. géol.*, 3e série, t. XVIII, p. 874, et pl. XXVII, 1889-90.

2. Depuis que ce mémoire est rédigé, j'ai découvert au Puy de Saint-Sandoux (Puy-de-Dôme) une *néphélinite* (avec accidents doléritiques), renfermant l'enclave décrite plus loin. Cette néphélinite est la première qui ait été jusqu'à ce jour signalée dans le Plateau Central de la France.

porphyroïde). Les *andésites* dont les enclaves sont décrites dans ce chapitre sont des *andésites augitiques*, possédant généralement une couleur foncée et une analogie plus ou moins grande de caractères extérieurs avec les roches basaltiques.

Puy-de-Dôme. *a*) Enclaves dans les scories basaltiques. — Chuquet Genestoux. — Une petite carrière est ouverte dans les scories basaltiques du Chuquet-Genestoux, au pied du Puy-de-Dôme. Elles sont très riches en fragments de granite et de gneiss, atteignant parfois de très grandes dimensions. Ils sont en général fondus à leur surface et recouverts d'un enduit de verre leur donnant un aspect vernissé.

Quelques-unes de ces enclaves sont intérieurement fondues, et présentent alors les phénomènes décrits plus loin au sujet des enclaves de Denise. En général, les recristallisations sont peu nombreuses. Le mica est parfois transformé en produits ferrugineux sans formes nettes ou en agrégats de spinelle. Dans un échantillon pénétré de verre basaltique brunâtre, le quartz est entouré d'une couronne d'augite. Dans un autre, où le feldspath est en partie démoli, j'ai observé de nombreux petits microlites d'augite d'un beau jaune d'or. Cette couleur est due à des actions secondaires qui ont également agi de la même façon sur les microlites d'une andésite que j'ai recueillie en enclave dans la même carrière.

Gravenoire. — Les scories basaltiques et les basaltes de Gravenoire, près Clermont, renferment de nombreuses enclaves granitiques. Celles qui proviennent des scories présentent les mêmes phénomènes de fusion qu'au Chuquet Genestoux. Celles qui sont englobées par le basalte massif rappellent davantage les enclaves modifiées du Puy de Plantat (voir plus loin). Les fragments anciens en voie

de fusion sont cimentés par des feldspaths récents, cristallisant sous forme microlitique ou plus souvent sous une forme confuse rappelant la pâte de quelques trachytes du Mont-Dore. Çà et là s'observent des feldspaths en trémies.

J'ai recueilli à Gravenoire des échantillons formés par un véritable sable granitique cimenté par le basalte ; celui-ci appartient au type riche en grands cristaux de labrador.

Pariou. Une bombe basaltique provenant du Pariou m'a été remise par M. Gautier. Elle renferme une enclave granitique en partie fondue en un verre incolore. Je n'y ai pas observé de phénomènes de recristallisation.

b) Enclaves dans les tufs basaltiques (*pépérites*). — L'origine des *pépérites* du Puy-de-Dôme est très obscure. L'état de la question a été récemment exposé par M. Michel Lévy [1]. Les unes sont à l'évidence le résultat de l'intrusion de roches basaltiques dans les terrains meubles, tandis que les autres, stratifiées, sont vraisemblablement des tufs de projections basaltiques. M. Gautier, qui poursuit depuis longtemps un travail sur cette question, m'a communiqué quelques enclaves, recueillies par lui dans ces dernières pépérites.

D'une façon générale, les pépérites sont constituées par de petits grains de verre basique brun, riches en microlites d'augite, en grands cristaux d'augite et d'olivine (ces derniers plus ou moins altérés et calcifiés) : des produits chloriteux abondent. Ces grains tachylitiques, mélangés à des fragments de calcaire, à des débris de roches granitiques sont cimentés soit par du verre, soit par de la calcite.

Souvent, le verre tachylitique renferme lui-même des enclaves de quartz et de feldspath qui se comportent comme celles des basaltes massifs (Chaux-Montgros).

1. *Bull. Soc. géol.*, 3e série, XVIII, 895, 1890.

Un fragment de granite des pépérites du roc de Mars, au Puy-de-Mur, est presque entièrement fondu ; ses éléments intacts (orthose et oligoclase crénelées sur les bords, quartz) sont noyés dans un verre incolore à cassures perlitiques, dans lequel çà et là s'observent des taches d'un brun foncé, riches en spinellides, correspondant à des fragments fondus de biotite.

J'ai étudié un échantillon similaire provenant du roc de Plasse, près Chanriot. Ce qui rend cette enclave intéressante, c'est la façon dont fondent ses feldspaths. On voit, dans les lames minces, leurs bords profondément creusés de sillons parallèles, suivant lesquels s'opère la fusion qui laisse subsister entre eux de fines baguettes intactes dont l'ensemble rappelle assez bien les dents d'un peigne (Pl. II, fig. 2). Par places, on observe de petites aiguilles très biréfringentes (rutile) qui semblent déceler les traces d'un mica.

c). Enclaves dans basaltes massifs. — Puy de Montaudou. Le puy de Montaudou, près Royat, est formé par un dyke de *basalte* perçant les grès à ciment calcaire de la base de l'aquitanien. Dans la carrière ouverte pour l'empierrement des routes, se rencontrent en grande quantité des enclaves très variées de composition minéralogique. On y trouve en effet des nodules à olivine, etc., qui seront étudiés dans un autre chapitre, enfin et surtout des roches quartzofeldspathiques (arkoses tongriennes, granite et granulite, fragments de feldspath provenant de leur désagrégation).

Le *basalte* est pauvre en feldspath. En beaucoup de points, il est traversé par des filonnets de calcite ; le même minéral imprègne les enclaves, souvent même les détruit en partie et dans tous les cas, rend leur étude difficile.

Granite. — Les fragments de granite enclavés sont souvent très emiettés dans le basalte et il n'est pas rare de

trouver 15 ou 20 fragments de quartz ou d'orthose épars dans une préparation mince de 2 centimètres de surface. Ils fondent insensiblement dans le magma sans recristallisation autre que celle du pyroxène autour du quartz. La figure 9 de la planche I montre un de ces fragments à contours de corrosion crénelés, entouré par un verre incolore. Le feldspath est bordé d'une couronne d'augite en cristallites plumeux, chargés d'oxyde de fer.

Quand on examine un fragment de granite, inclus dans le basalte, on voit ce dernier s'infiltrer dans toutes les fentes des minéraux de l'enclave et y cristalliser sous forme de microlites non maclés, s'éteignant près de l'allongement; le péridot disparaît, le pyroxène devient rare ou disparaît. Souvent les bords des cristaux feldspathiques sont jalonnés par une très fine zone de feldspath récent, en général irrégulière, plus rarement se terminant en trémies. Quant au mica, il est transformé soit en produits ferrugineux opaques, soit en spinellides avec recristalisation de fines lamelles de biotite. Ces modifications sont du même ordre que celles observées au Puy-de-Plantat et à Dorgali (Pl. II, fig. 4).

Dans quelques échantillons, la roche est plus fondue, les recristallisations sont rares, tous les minéraux anciens sont envahis par un verre fortement calcifié; les microlites d'augite qui entourent le quartz sont vert pâle.

Granulite. — La roche la plus intéressante que l'on trouve en enclaves à Montaudou est une granulite à grands éléments pauvre en quartz, et surtout formée d'orthose et d'oligoclase avec un peu de zircon et d'ilménite. C'est la désagrégation de cette roche qui a fourni les nombreux fragments de feldspaths que l'on recueille soit dans le basalte, soit dans les tufs qui l'accompagnent. Leur éclat vitreux et leur fraîcheur sont dus à la profondeur de leur

gisement original ; ils ont été soustraits aux actions secondaires qui ont piqueté de produits d'altération les feldspaths des roches granitiques actuellement au jour dans la région.

Quant aux feldspaths isolés, ils présentent toujours des phénomènes de fusion plus ou moins accentués. L'écartement des axes optiques de l'orthose est généralement faible : le plan des axes étant tantôt parallèle (*orthose déformée*), tantôt perpendiculaire à g^1 (010). M. Jannettaz a analysé l'un d'eux, qui d'après les résultats obtenus semble assez impur. La fusion partielle, le mélange d'oligoclase et de produits secondaires[1] expliquent ce fait.

J'ai examiné un échantillon vitreux, noir, dans lequel on ne distingue plus que des fragments épars de quartz et de feldspaths anciens, disséminés dans un verre violacé, riche en cristaux de cordiérite semblables à ceux de la figure 4 de la planche I, mais beaucoup plus petits ; ils sont accompagnés de magnétite, sans qu'on trouve avec eux de bisilicates comme dans les autres gisements où j'ai rencontré de la cordiérite. Il est probable que, dans le cas qui nous occupe, l'apport de verre basaltique a été insuffisant pour amener la formation du pyroxène.

Dans tous les échantillons, les produits secondaires sont abondants, ils consistent surtout en calcite et en christianite.

Puy de Plantat. — Au Puy de Plantat, au dessus du village d'Orcine (à gauche de la route de Clermont à Limoges), on voit un contact net de basalte et de granite. M. Gautier m'a conduit dans de petites carrières où l'on peut trouver de nombreux blocs de granite, emballés dans le basalte et imbibés par lui. Ces blocs, de dimensions variées, atteignent parfois 0^{m} 50 de diamètre.

1. *Bull. Soc. minér.* XIII, 1890. Voir aussi Gonnard, *id.* XIV, 226, 1891.

Tous les degrés possibles dans la destruction de ces enclaves par le basalte s'observent dans ce gisement. Toutefois les modifications sont peu variées; elles se bornent à la dislocation graduelle de l'enclave, la résorption de ses éléments fusibles. Le magma basaltique pénètre dans toutes les fissures des minéraux, les agrandit et subit une modification endomorphe; le pyroxène disparaît presque complètement ainsi que l'olivine; les microlites sont alors formés par des lamelles d'oligoclase jalonnées par de la magnétite. Quelquefois ces microlites s'orientent sur les feldspaths anciens.

Le mica se transforme comme à Montaudou en spinellides opaques; il se forme, mais rarement, un peu de sillimanite. Dans un seul échantillon, j'ai observé des grains d'hypersthène, associés au spinelle et rappelant les groupements similaires des enclaves du Velay.

On voit que, dans leurs généralités, les enclaves modifiées du Puy de Plantat se rapprochent de celles de Montaudou et de Dorgali (Pl. II, fig. 4).

Les cavités des enclaves, cavités occupées sans doute à un moment donné par du verre, sont tapissées de mamelons à fibres délicates de christianite formant souvent des sphérolites à croix noire. Ils sont hérissés de pointes cristallines (macle de Marbourg). Il existe souvent en outre de la calcite secondaire.

Prudelles. — J'ai décrit déjà [1] des enclaves provenant du basalte pliocène de Prudelles. Elles y sont assez fréquentes, constituées par du granite; elles sont souvent riches en zéolites qui épigénisent le verre résultant de leur fusion partielle. Les géodes qui prennent ainsi naissance sont tapissées de christianite et plus rarement d'apophyllite, de

1. *Bull. Soc. Géol.*, 3e série, XVIII, 876 et pl. XVII, fig. 4, 1890.

chabasie et de mésole. Ces minéraux ont été étudiés par M. Gonnard.

Les modifications subies par ces enclaves consistent dans la fusion des feldspaths et leur recristallisation sous forme de grandes baguettes entrecroisées affectant une structure diabasique ou la forme de trémies rappelant celle de Lastic (Pl. II, fig. 5). Ces feldspaths sont associés à de grands microlites de pyroxène incolore se transformant sur les bords en œgyrine. On y observe aussi des lamelles d'ilménite brune en forme de gerbes et des cristallites flabelliformes incolores n'agissant pas sur la lumière polarisée.

La démolition des feldspaths en solides rectangulaires, entourés de verre incolore ou brunâtre, est fréquente ainsi que l'orientation de feldspath récent sur les feldspaths anciens, riches en inclusions gazeuses et en mica blanc secondaire. Dans quelques échantillons, l'enclave modifiée prend l'apparence d'une roche microlitique très cristalline; les cristaux feldspathiques anciens jouent le rôle des cristaux du premier temps et les grands microlites de nouvelle formation, mélangés à de l'augite, simulent le second temps. Par places, des agrégats d'augite indiquent la place du quartz résorbé.

Enfin, un échantillon renferme un minéral rappelant la cordiérite, transformée en produits serpentineux. Il est englobé par des feldspaths largement recristallisés; il est souvent entouré par une couronne d'hypersthène incolore. Un peu de verre vert foncé environne les feldspaths à structure diabasique qui sont criblés de petits octaèdres de spinelle violet et de grains d'augite englobant des paillettes de biotite. Par places, le feldspath récent prend la structure des trachytes.

Il n'est pas rare de voir un fragment ancien de l'enclave former le centre d'un large sphérolite de christianite sur

lequel s'implantent à la périphérie des cristaux *p* (001), *m* (110), a^1 (101) d'*apophyllite.* Le même minéral imprègne aussi par places l'enclave. En lames minces, il prend des teintes bleu du premier ordre, très dispersives, analogues à celles de certaines chlorites peu biréfringentes. Cette apophyllite présente deux axes optiques, écartés d'environ 40° (2E) autour de la bissectrice qui est négative.

La biotite subit la transformation en spinelle et magnétite, accompagnés de biotite secondaire.

Indépendamment des zéolites, les vacuoles sont remplies par une substance chloriteuse ayant la biréfringence de la delessite; elle est parfois colorée en rose saumon.

Gergovia. — Les basaltes massifs de Gergovia renferment des enclaves d'orthose vitreuse, tout à fait identique à celles de Montaudou et de Pardines. Ces enclaves ont la même origine et présentent les mêmes modifications.

Pardines. — Le basalte de Pardines contient en assez grande abondance des fragments d'orthose très frais, analogues à ceux dont il vient d'être parlé et provenant comme eux des granites sous-jacents.

Les propriétés optiques de cette orthose sont déformées [plan des axes optiques parallèle à g^1 (010)]. Elle est riche en inclusions gazeuses. De plus, elle se disloque par le procédé habituel, les clivages s'ouvrent largement, débitant le cristal en petits solides rectangulaires, bientôt séparés les uns des autres par le verre résultant de leur fusion mutuelle (Pl. III, fig. 12).

Par places, la fusion du feldspath se fait irrégulièrement par taches et le feldspath subsistant affecte des formes décharnées très curieuses.

Le verre incolore résultant de la fusion du feldspath se mélange peu à peu au verre basaltique, il se charge alors de microlites de pyroxène d'autant plus abondants que

l'on se rapproche davantage du contact du basalte, puis il reprend sa composition normale.

Fontfreide. — M. Michel Lévy m'a remis un échantillon du contact d'un filon de basalte et du granite qu'il a recueilli sur la route de Saint-Genest à Fontfreide. Cet échantillon présente des phénomènes fort analogues à ceux des enclaves et produits de contact du Puy de Plantat; je les ai sommairement décrits dans un mémoire précédent[1].

Le granite a subi des phénomènes d'écrasement énergiques, ses éléments présentent les modifications habituelles (inclusions gazeuses, fusion du mica et épigénie en spinelle, magnétite et pyroxène). De plus, la roche est injectée par le basalte qui remplit les fentes les plus minces en se modifiant (disparition de l'olivine, rareté du pyroxène, remplacement du labrador par de l'oligoclase). Les bords du feldspath se nourrissent de feldspaths récents orientés comme eux.

Puy de Pariou. — Les échantillons étudiés ont été recueillis près du point d'émission d'une coulée basaltique du Pariou. Ils sont constitués par le basalte à grands cristaux de feldspath, analogue à celui de Gravenoire. Ce basalte cimente un grand nombre de fragments de basalte porphyroïde, de granite et de quartzite cambrien modifié par le granite. Dans quelques échantillons, ces enclaves sont si petites et si nombreuses, qu'une même plaque mince en renferme plusieurs, agglomérées par une très petite quantité de basalte.

Le mica est fondu, transformé en produits ferrugineux non cristallins. Il est facile de reconnaître la forme de ses grands cristaux dans le granite ou de ses petites lamelles

1. *Bull. Soc. géol., op. cit.*, 877 et fig. 5 de la pl. XXVII.

moulant les grains de quartz du quartzite métamorphisé par le granite. Je n'ai observé aucune autre modification. Ces enclaves ont été portées à une température inférieure à celle de la fusion du feldspath ; la rapidité du refroidissement n'a pas permis au magma basaltique d'agir sur elles.

Le même basalte renferme fréquemment des fragments de quartz entourés de la gaine habituelle d'augite, des morceaux de feldspath modifiés comme d'ordinaire, derniers vestiges d'enclaves en partie résorbées.

Puy de l'Halle. — Les basaltes du Puy de l'Halle, près Combrailles, renferment des enclaves granitiques dont M. Gautier a bien voulu me recueillir quelques échantillons.

Ces enclaves sont remarquables par la netteté des phénomènes de recristallisation que l'on y observe. Au contact du basalte et de l'enclave, il existe une zone composée de baguettes d'un feldspath triclinique (intermédiaire entre l'oligoclase et l'andésine), jalonnées par un peu de verre brunâtre : elles se groupent souvent en éventails élégants et englobent de nombreux microlites d'augite. Ces feldspaths pointent dans un verre incolore ; ils renferment des grains de quartz, entourés par des couronnes de pyroxène qui subsistent seules parfois, par suite de la résorption des grains de quartz autour desquels ils s'étaient formés (Voy. pl. III, fig. 10). Les plaques tangentes à la surface de contact, coupent ces feldspaths normalement à leur allongement et montrent de très belles trémies.

Le verre résultant de la fusion de cette enclave renferme aussi des fragments de feldspath ancien, entourés par une large bordure de feldspaths récents à longues dentelures.

Quand on se rapproche de l'enclave, la roche ancienne se montre cohérente, de moins en moins modifiée.

Puy d'Edde. — Les deux enclaves de granite des basaltes du Puy d'Edde, près Pontaumur, que j'ai étudiées, ont été trouvées par M. Gautier.

L'un des échantillons est entièrement cristallisé, les grains de feldspath ont fondu sur les bords, puis ont recristallisé en s'orientant sur les cristaux anciens, mais en englobant de nombreux petits cristaux d'augite vert clair. La roche offre un aspect très curieux, chaque plage feldspathique étant entourée par une couronne d'augite récente. La formation du pyroxène est due à une intrusion du basalte dans l'enclave à la suite de laquelle le verre provenant de la fusion feldspathique est devenu plus basique. Cette injection du basalte est parfois visible grâce à de petits nodules qui ont cristallisé au milieu de l'enclave sous forme de basalte riche en matière amorphe ferrugineuse. La biotite est entièrement détruite, transformée soit en verre, soit en spinellides.

Cet échantillon est peu quartzeux; le second, au contraire, l'est beaucoup; les phénomènes de fusion sont très accentués; le feldspath est presque entièrement fondu et recristallisé partiellement sous forme d'orthose trachytique confuse, mélangée à de l'augite. Les grains de quartz, très corrodés, sont noyés dans un verre à cassures perlitiques des plus nettes, au milieu duquel sont disséminés des microlites d'augite et des paillettes de biotite dessinant des courbes plus ou moins sinueuses. Il est facile de s'assurer que ces cristaux d'augite se sont formés autour d'un fragment de biotite ou de quartz qui a fondu postérieurement à leur cristallisation; la grande viscosité du verre très acide leur a permis de conserver leur position relative (Pl. III, fig. 10); çà et là s'observent des plages troubles en lumière transmise et montrant en lumière polarisée des sphérolites feldspathiques à croix

noire, semblables à ceux des porphyres pétrosiliceux.

Puy de Boueix. — Une carrière ouverte dans le basalte du Puy de Boueix, à l'ouest de Pontaumur, a permis à M. Gautier de ramasser quelques enclaves granitiques qu'il a bien voulu me communiquer.

Les phénomènes de recristallisation de ces enclaves sont assez variés. Dans quelques échantillons, au contact du basalte, on voit l'enclave parcourue par des filonnets très feldspathiques, riches aussi en microlites augitiques qui se concentrent en couronnes autour des grains de quartz. Tantôt il existe du verre brunâtre, tantôt au contraire tout est parfaitement cristallisé. L'apport de la matière basaltique est ici évident.

Dans d'autres échantillons, l'augite n'existe en abondance qu'au contact immédiat de l'enclave et du basalte dans une zone très régulière. L'enclave a cependant fondu en partie et a recristallisé soit sous forme de microlites trachytiques, soit sous forme de grands cristaux pectinés ou constitués par l'accolement de microlites séparés les uns des autres par un peu de matière vitreuse. Il existe un peu de pyroxène très grenu, formé surtout aux dépens du mica noir ; il est alors accompagné d'une grande quantité de jolis octaèdres violet clair de spinelle.

Enfin, dans une dernière enclave, le contact avec le basalte est formé par de longues baguettes de feldspath atteignant 2^{mm}, baguettes appliquées sur la paroi du contact et s'entrecroisant. Les vides laissés entre elles sont occupés par du verre riche en lamelles de biotite et en grêles microlites d'oligoclase (Pl. III, fig. 9). Les grands cristaux de feldspath renferment eux-mêmes un peu de biotite et de pyroxène.

Il me reste à signaler la formation de la cordiérite et d'une petite quantité de spinelle dans une enclave très

fondue dont la biotite a été transformée en une substance violacée isotrope.

Mont-Dore, Lac de Guéry. — J'ai trouvé de nombreuses enclaves dans les basaltes de la route qui va du Mont-Dore au lac de Guéry.

Elles sont constituées par des granulites à cordiérite présentant des stades variés de fusion et de recristallisation. Quelques échantillons sont scorifiés à la façon des roches de Denise. La cordiérite bleue reste intacte au milieu du verre feldspathique ponceux.

Les phénomènes de recristallisation des feldspaths sont identiques à ceux qui viennent d'être décrits dans les enclaves de Prudelles. Souvent le contact immédiat de l'enclave et du basalte se fait par une zone de grands cristaux diabasiques de feldspaths, implantés plus ou moins normalement sur la paroi du basalte. Cette zone feldspathique est riche en pyroxène verdissant sur les bords.

Banne d'Ordenche. — La *leucite* n'a été rencontrée jusqu'à présent dans aucune des roches volcaniques du Plateau Central de la France. Je l'ai découverte récemment [2] dans un basalte du Mont-Dore avec des particularités de gisements des plus curieuses. Sa formation semble liée à l'existence d'enclaves dans la roche volcanique qui la renferme. L'échantillon étudié provient de la coulée de *basalte des plateaux* qui couronne la Banne d'Ordenche : il a été recueilli par M. P. Gautier qui avait bien voulu m'y chercher des enclaves de roches étrangères; il englobe un gros fragment de diabase.

Deux traînées blanches ayant environ 1^{mm} de largeur ont tout d'abord appelé mon attention. L'examen micro-

1. *Bull. Soc. géol.*, 3e série, XVIII, 875 et pl. XXVII, fig. 3, 1889-90.
2. *C. Rendus*, CXIII, 751, 1891.

scopique montre que ces veinules sont formées par de grandes plages arrondies de *leucite* sans contours géométriques, présentant en lumière polarisée parallèle les propriétés optiques caractéristiques de ce minéral ; la biréfringence est celle de la leucite de la Somma, les bandes hémitropes sont très nettes. Ce minéral moule toutes les aspérités du basalte, s'insinue dans les moindres fissures de la paroi de la fente qu'il remplit. Par places, il est séparé du basalte par du *feldspath triclinique* et peut-être aussi par un peu d'orthose. Ces feldspaths sont aplatis suivant g^1, groupés en rosettes en affectant la structure des diabases ; un peu de pyroxène, de biotite, de magnétite, moule ces cristaux. (Pl. III, fig. 5.) Ils se présentent aussi en rosettes au milieu de la leucite, et leur enchevêtrement avec ce minéral est tel que les deux substances ont certainement cristallisé simultanément.

La leucite et les feldspaths sont criblés de longs cristallites de pyroxène, sans action sur la lumière polarisée ; il y a lieu de signaler, en outre, de véritables microlites allongés et enfin de grands cristaux de pyroxène, un *mica* noir du groupe de l'*anomite* [plan des axes optiques perpendiculaire à g^1 (010) $2\ E = 40°$ environ], de la *hornblende* brune, de l'*apatite*, des lamelles d'*hématite*. Ces divers minéraux sont du reste peu abondants.

De nombreux essais ont été faits pour vérifier la légitimité de la détermination de la leucite. Indépendamment des propriétés optiques, j'ai pu constater que le minéral est infusible, que la chaleur ne le rend pas opaque et ne lui fait pas perdre de poids ; les essais micro-chimiques montrent l'absence de la soude, la présence de la silice, de l'alumine et de la potasse. Un petit fragment a été placé dans un mélange d'iodure de méthylène et d'éther tenant en suspension un cristal de leucite de Tavolato ;

il s'y tient en suspension dans les mêmes conditions et possède donc le même poids spécifique que ce minéral. Il est attaquable par les acides sans faire gelée. Tous ces caractères sont suffisants pour permettre d'affirmer que le minéral en question est bien de la *leucite* et pour éliminer l'hypothèse d'une zéolite (analcime).

Il est plus difficile de donner une explication satisfaisante de ce mode nouveau de gisement de la leucite dans un basalte normalement dépourvu de ce minéral. Ce basalte, qui a été étudié récemment par M. Michel Lévy, possède en effet la composition la plus habituelle des basaltes à grains fins d'Auvergne [(I) *olivine*, un peu d'*augite*, *magnétite*; (II) *augite*, *labrador*, *magnétite*, avec de la *biotite* autour de ce dernier minéral].

Les observations de M. Fouqué et de M. Scacchi ont montré que la leucite peut se produire dans la nature par sublimation; les expériences de M. Hautefeuille et de MM. Friedel ont fait voir la possibilité de sa production par voie humide; enfin MM. Fouqué et Michel Lévy l'ont reproduite par fusion ignée et recuit, soit de ses éléments, soit d'un mélange de microcline et de biotite.

La structure de la veine leucitique et notamment la disposition des feldspaths me semblent indiquer un mode de production par voie ignée. D'autre part, l'acidité des feldspaths, plus grande dans la veine leucitique que dans le basalte, l'existence dans celle-ci de minéraux n'existant pas dans cette roche prouvent un apport de matière étrangère. Peut-être faut-il voir dans tous ces minéraux le résultat de la transformation d'une enclave acide, incomplètement résorbée et étirée par suite de la fluidalité de la roche. La disposition des feldspaths est, du reste, tout à fait celle qui s'observe dans les enclaves acides en voie de recristallisation au milieu du basalte. Une des veines

leucitiques a été brisée; elle montre une surface blanche scoriacée et, dans les cavités arrondies, s'observent à la loupe de petits octaèdres de spinellides et des lamelles de biotite recouvrant les minéraux blancs.

Puy de Cordeloup. — Le basalte du Puy de Cordeloup, près Ysserteaux (environs de Billom) repose sur le granite, et en englobe des fragments que m'a remis M. Gautier. Ils sont très curieux au point de vue des recristallisations dont ils ont été le siège.

Le basalte de ce gisement est riche en augite, pauvre en feldspath.

Dans une des enclaves que j'ai observées, le contact avec le basalte est formé par une zone très riche en verre brun renfermant des microlites et des grands cristaux dentelliformes d'augite, rappelant ceux de la fig. 8 de la Pl. II; ils sont accompagnés d'une petite quantité de grands cristaux allongés tendant à prendre à leurs extrémités une disposition fasciculée; ils englobent une grande quantité d'inclusions noires à dispositions palmées. Plus on s'éloigne du contact, plus le feldspath augmente, plus l'augite et le verre diminuent. On est ainsi conduit à une zone représentée par la fig. 1 de la Pl. III dans laquelle on ne voit plus que des feldspaths arborisés et palmés rappelant ceux de certaines variolites. Ces feldspaths très allongés ont souvent pour axe des chapelets de fins octaèdres de magnétite qui accentuent leur disposition fasciculée et qui dans d'autres cas constituent de délicats édifices, se croisant suivant leurs axes quaternaires. L'intervalle entre ces feldspaths est rempli par du verre très riche en longues lamelles de biotite. Quand on se rapproche de l'enclave, les feldspaths deviennent moins abondants; ils prennent une forme plus régulière et au contact même du granite, ils viennent s'orienter sur les bords crénelés du feldspath ancien.

Dans un autre échantillon, une enclave a été presque entièrement résorbée ; à sa place, on voit une roche bizarre formée de grands cristaux de feldspath triclinique entourés par des microlites plus fins mélangés à du verre, de l'ilménite translucide et de la biotite. De plus, il existe en grande abondance des grains isométriques d'olivine, tous entourés d'une zone mince de biotite.

La Bastide, près Lastic. — Les *basaltes* de la Bastide près Lastic renferment quelques enclaves entièrement fondues ; elles ont dû être constituées par une roche granitique, à en juger par leur analogie avec celles qui ont certainement cette origine.

Le feldspath est rarement maclé suivant les lois de Carlsbad et de l'albite, il semble constitué par de l'oligoclase. Sa recristallisation s'est effectuée sous forme de trémies dont les contours sont jalonnés par du pyroxène ; parfois il y a formation de véritable pegmatite, tout le pyroxène ainsi développé dans une grande plage feldspathique ayant une même orientation (Pl. II, fig. 5). Il existe aussi dans les intervalles des trémies une substance chloriteuse verte offrant une polarisation d'agrégat et résultant sans doute de la transformation de matière vitreuse. Dans ce feldspath existent aussi des cristaux nets de pyroxène, distribués d'une façon quelconque. Ce pyroxène est, en tout ou partie, transformé en œgyrine d'un vert d'herbe foncé.

Par places, l'enclave renferme des géodes contenant de l'œgyrine noyée dans de la calcite. Les sections minces de la roche montrent très nettement les faces m h^1 g^1 des cristaux coupés transversalement. La calcite épigénise sans doute du verre, elle est sphérolitique et montre, en lumière parallèle, les phénomènes bien connus de la croix et des anneaux colorés lorsqu'on change lentement la mise au point.

Au contact du basalte, la proportion du pyroxène augmente beaucoup; il ne se transforme plus en œgyrine et il est mélangé de lamelles extrêmement minces et transparentes d'ilménite brune. Ces minéraux sont encore englobés dans de grandes plages feldspathiques, puis 1 ou 2 ^{mm} plus loin, l'olivine apparaît et la roche ne diffère du basalte normal que par ce fait que le feldspath triclinique y existe en grandes plages irrégulières au lieu de former de petits microlites. De plus, il se développe de nombreuses lamelles de biotite, surtout autour de la magnétite plus abondante que dans le basalte franc. Dans quelques échantillons, le feldspath n'affecte pas la forme en trémies et recristallise en grandes plages allongées, englobant le pyroxène; la roche simule une diabase. Enfin un dernier échantillon renferme de grandes plages d'analcime, à peine biréfringente, montrant par la superposition d'une lame de quartz teinte sensible des macles polysynthétiques très fines. Le feldspath recristallisé s'y présente localement sous forme microlitique.

Puy de la Garde. — Le *basalte* du Puy de la Garde, au sud de Saint-Jean-des-Ollières (env. de Billom), renferme également des enclaves, rappelant beaucoup quelques-unes de celles de Montaudou et de Chaux-Montgros. Elles sont en effet constituées par un feldspath vitreux et une roche feldspathique à gros éléments, riche en ilménite.

Les feldspaths sont de l'orthose et de l'oligoclase; ils présentent les mêmes particularités que ceux de Montaudou, de Pardines, etc.

La roche feldspathique est constituée par ces mêmes feldspaths avec un peu d'apatite. Ces feldspaths offrent la fusion en damier. Dans l'intervalle des petits solides rectangulaires ainsi formés, on observe parfois des microlites de pyroxène et des lamelles de biotite. Dans les points où la

fusion a été complète, les feldspaths recristallisent soit sous forme de petits prismes rectangulaires, soit sous celle de longues baguettes diabasiques. Dans tous les cas, il se produit en grande abondance du pyroxène incolore, se transformant sur les bords en œgyrine, biotite et ilménite.

Dans un échantillon, au contact de l'enclave et du basalte, j'ai observé un grand moule de hornblende complètement transformée en magnétite et en dentelle d'augite à orientation uniforme. Il est probable que ce cristal appartient au basalte qui en renferme d'analogues.

Le basalte du Puy de la Garde est riche en nodules et en petites géodes de mésotype.

Saint-Anthème. — Les enclaves du basalte de Saint-Anthéme, que je dois à l'obligeance de M. Gonnard, sont constituées par un granite riche en mica.

Le mica est entièrement transformé en agrégats de spinellides en buisson (Pl. II, fig. 9) au milieu desquels se trouvent quelques minces lamelles de biotite récente. Tout à l'entour de ces pseudomorphes, l'on observe de petit smicrolites de pyroxène rhombique qui, par places, deviennent jaune verdâtre, prenant une biréfringence beaucoup plus forte. Ce sont probablement des épigénies en bastite. La petite taille de ces microlites ne permet pas d'établir ce diagnostic sur des bases plus certaines. Ils se développent également dans toutes les fissures de la roche, ils sont accompagnés çà et là de spinelles.

Les feldspaths sont en partie fondus. Leur fusion se produit fréquemment suivant des surfaces curvilignes rappelant les solides limités par les cassures perlitiques de pechsteins. Ces parties fondues recristallisent sous forme de feldspath limpide, orienté sur le cristal ancien qui est trouble et riche en inclusions vitreuses. La structure alvéolaire de la roche est alors très curieuse. Le felds-

path récent cristallise parfois aussi sous forme de grands microlites à faciès diabasique qui se développent souvent dans les fissures en s'implantant sur les deux lèvres de celles-ci.

Chaux-Montgros.— Les basaltes de Chaux-Mongros, près Billom, et les tufs basaltiques qui les accompagnent sont riches en enclaves. Celles-ci sont formées par des roches feldspathiques souvent dépourvues de quartz et d'éléments colorés.

Les feldspaths sont fondus et ont recristallisé en donnant naissance à une structure diabasique à faciès variés. En général, les cristaux allongés de feldspaths de nouvelle formation sont de grande dimension, mélangés à une très grande quantité de lamelles de biotite qui, dans les sections minces, se montrent sous forme de longues aiguilles. Le pyroxène se présente soit en grands cristaux criblés de cavités comme ceux de la figure 8 de la planche II, soit en microlites moulant en général les feldspaths et souvent se transformant en œgyrine.

Tantôt la partie cristallisée est holocristalline, tantôt il y a deux périodes de recristallisation de feldspath et de mica avec un résidu vitreux.

Quand l'enclave est de petite taille, elle est souvent entièrement transformée. On la prendrait facilement pour une diabase très feldspathique, si l'on n'avait suivi, comme je l'ai fait, les diverses étapes de sa formation.

Ces enclaves sont constituées soit par des accidents feldspathiques de granulites soit, quand elles ne sont pas quartzeuses, par des roches grenues en relation avec les phonolites du voisinage.

Des enclaves de feldspath adulaire comme celui de Montaudou ont été trouvées[1] au Puy de Corent, près de

1. Bouillet, *Topographie minér. du Puy-de-Dôme*, Clermont 1854.

Veyre, au Puy de Chanat. Des enclaves de roches granitiques dans les scories du Puy de Banson près Telhède, et de la Bannière près Volvic, du gour de Tazanat, des granulites à grenat dans le basalte du Puy de Chanat, etc.

La cordiérite signalée par Launoy[1] dans le basalte de la côte d'Anchal, près Pontgibaud, a certainement la même origine.

ANDÉSITES AUGITIQUES. — On a vu plus haut que les *andésites augitiques et péridotiques* de Volvic renferment des enclaves de quartz ; elles sont accompagnées d'enclaves de feldspath, de sanidinites et d'une roche noire très bulleuse qui possède sensiblement la même composition que l'andésite massive.

Les fragments de quartz et d'orthose proviennent, selon toute vraisemblance, des granites voisins. L'orthose en fragments macroscopiques est en général superficiellement fondue et présente alors les particularités qui ont été décrites à Pardines. Souvent l'andésite en renferme des enclaves microscopiques qui ont été imbibées par le magma volcanique ; celui-ci y a laissé sa trace sous forme de nombreuses inclusions vitreuses ou de petits grains d'augite, en général associés à des granules de magnétite. Ces feldspaths (orthose et oligoclase) ainsi criblés d'inclusions se distinguent au premier coup d'œil des grands cristaux de labrador, indigènes dans l'andésite[2].

Cantal. — *a*) Enclaves dans les tufs basaltiques. — Murat. — Les *tufs basaltiques* que l'on observe aux environs de Murat, à l'embranchement des chemins allant à Albepierre et à Empalat, sont riches en fragments de

1. *Ann. scientif. de l'Auvergne*, 1832, 251.
2. Pour ce qui concerne la stratigraphie et la composition minéralogique de la plupart des roches du Puy-de-Dôme, voy. Michel Lévy, *Bull. soc. géol. 3e série*, XVIII, 698-951, 1890.

roches anciennes (gneiss et granulite) accompagnées des roches basiques qui seront étudiées plus loin.

Les actions secondaires ont profondément altéré tous les éléments de ces tufs; en plusieurs points (talus gauche de la route allant à Empalat), les scories basaltiques sont très riches en beaux cristaux de chabasie.

Beaucoup d'enclaves de granulite ou de gneiss granulitique ne sont pas modifiées et ne sont intéressantes que par leur composition minéralogique. Elles sont en effet constituées par un mélange grenu d'orthose, d'oligoclase et de quartz avec des cristaux de diaspore possédant les mêmes propriétés que ceux de Bournac (Haute-Loire) qui seront signalés plus loin. C'est le second gisement français de ce minéral rare.

Etant données la faible dimension de ses cristaux ($0^{mm}5$ à 1^{mm}) et leur couleur blanchâtre, le diaspore a pu passer inaperçu dans les roches cristallines d'Auvergne et il est probable que des recherches attentives permettront de le trouver dans des roches en place.

Quant aux roches modifiées, elles présentent des phénomènes de fusion plus ou moins intenses, accompagnés de recristallisation de feldspath sous forme confuse. Un échantillon a montré une formation nouvelle de larges sphérolites feldspathiques à fibres fondues les unes dans les autres. Ils sont brunâtres en lumière naturelle et renferment des inclusions de pyroxène microlitique. Des buissons de spinelle et de magnétite, entourés de microlites d'augite jaune, remplacent probablement des plages de mica décomposées par la chaleur.

b) Enclaves dans le basalte en coulée. — Thiézac. — Le basalte porphyroïde de Thiézac renferme quelques enclaves quartzeuses et quartzofeldspathiques. Je dois à l'obligeance de M. Rames plusieurs blocs de basalte porphyroïde

recueillis dans la moraine, entre Caillac et Vézac et englobant les enclaves que nous allons décrire; selon toute probabilité, ils proviennent également de Thiézac.

Les enclaves de ce gisement consistent en fragments de quartz et en micaschistes feldspathisé.

Les enclaves de quartz ont été décrites. (Voy. page 19, fig. 1 de la pl. I).

Les fragments de micaschistes feldspathiques emballés atteignent 10 centimètres de diamètre, mais quelques-uns n'ont pas plus d'un centimètre. Ils sont anguleux ou arrondis. A l'œil nu, ils semblent vitrifiés; la schistosité ou tout au moins le rubannement primitif de la roche est accusé par des traînées noires, correspondant aux lits micacés.

L'examen microscopique montre une composition minéralogique fort simple. Le quartz, en grains allongés dans le sens de la schistosité, paraît entremêlé de feldspath qui constitue la majeure partie de la roche; du mica toujours transformé est plus ou moins abondant suivant les échantillons qui renferment souvent en outre un peu de zircon et d'apatite.

Je n'ai observé aucun échantillon intact, mais les modifications sont d'une intensité variable suivant les fragments étudiés.

Dans ceux qui sont le moins modifiés, les feldspaths ne présentent que des traces de fusion; dans le verre incolore et transparent qui cimente les éléments intacts, on distingue avec de forts grossissements, de très petits cristallites incolores se groupant de préférence à l'entour des grains de quartz. Ils sont rhombiques et d'allongement positif (enstatite).

Le mica a conservé encore sa forme, mais il est transformé en un agrégat de fines aiguilles de sillimanite, accom-

pagnées par de petits octaèdres de spinelle, se groupant de préférence sur les bords des squelettes de mica. Les seules propriétés que l'on puisse constater sur ces petites aiguilles sont leur réfringence élevée, leur allongement et leurs extinctions longitudinales. Elles sont plus biréfringentes que l'enstatite et, malgré leur petitesse, elles atteignent le jaune de premier ordre. Cette sillimanite s'est bien formée aux dépens de la biotite, car on ne la trouve jamais en dehors des squelettes de ce minéral.

Dans un stade plus avancé de modification de l'enclave, une partie du feldspath est fondu, mais n'a pas recristallisé. Dans le verre résultant de sa fusion, les cristallites ou les microlites d'enstatite abondent ; ils sont quelquefois mêlés à des microlites d'augite qui existent seuls au contact immédiat avec le basalte.

Enfin quelques échantillons présentent des phénomènes de recristallisation qui méritent d'être étudiés en détail. On les observe surtout dans les échantillons où la fusion, étant très avancée, n'a plus laissé intacte qu'une partie du quartz.

Dans les zones très feldspathiques, le feldspath a recristallisé sous forme cristallitique, prenant tantôt la forme de trémies, jalonnées par du verre brunâtre, tantôt celle d'arborisations groupées parfois en sphérolites à extinctions roulantes, sphérolites dont on peut toutefois distinguer chaque fibre élémentaire séparée de ses voisines par de la matière vitreuse (Pl. I, fig. 11). Lorsqu'il existait du mica au milieu du feldspath nouveau, les produits de sa transformation sont plus ou moins disloqués.

Dans les zones feldspathiques ou tout au moins dans celles où le feldspath n'a pu recristalliser (sans doute, par suite d'un excès de silice dans le verre), on observe des phénomènes d'un autre ordre. Ce verre est souvent tacheté

de brun violacé, comme si des traces de matière basaltique lui avaient été incorporées; au milieu de celui-ci sont disséminés des grains de quartz et quelquefois de petits fragments de feldspath en voie de fusion, offrant les particularités représentées par la fig. 11 de la pl. I.

Dans le verre brunâtre, on voit en quantité surprenante des trichites enroulés, tantôt réduits à un fil opaque, tantôt plus larges et transparents; ils se groupent en étoile, s'enfilent à angle droit dans une aiguille plus grande ou constituent des grilles, des associations en forme de plumes. Quelques-uns de ces trichites très élégants sont représentés par la figure 8 de la planche I. On observe quelquefois des passages de ces trichites à des cristallites biréfringents et même à des microlites orthorhombiques d'enstatite, suffisamment gros pour que l'on puisse les déterminer avec précision.

Un autre minéral de nouvelle formation est la *cordiérite*. On l'observe surtout dans le verre le plus foncé. Elle forme de petits prismes ayant environ 0^{mm}, 10; ils sont incolores en lames minces de 0^{mm}, 02 et tranchent bien ainsi sur le fond coloré qui les entoure. Ils sont riches en inclusions de spinelle et d'enstatite. Les sections *p* (001) sont hexagonales et présentent une division en trois ou six secteurs, grâce à la macle polysynthétique suivant *m* (110); cette macle apparaît surtout nettement quand on superpose à la préparation une lame de quartz teinte sensible. Les petits prismes s'éteignent suivant leurs côtés et sont négatifs en long, toutes leurs propriétés sont celles de la cordiérite; ils sont du reste identiques à ceux qui ont été décrits dans plusieurs gisements étudiés plus haut (Pl. I, fig. 4).

La transformation de la biotite en sillimanite et spinelle est très fréquente; le spinelle forme même quelquefois

seul ces pseudomorphoses; ses octaèdres sont alors très nets, quelquefois maclés suivant la loi ordinaire; ils sont violacés et souvent même de teinte si foncée qu'ils sont opaques malgré la minceur de la préparation.

Dans un échantillon, j'ai pu faire sur la sillimanite la vérification de toutes ses propriétés optiques. De plus, un de ces agrégats de fines aiguilles englobait et moulait exactement un petit cristal de cordiérite récente. La sillimanite ne préexistait donc pas dans le micaschiste : elle s'est formée depuis l'englobement de l'enclave par la roche volcanique. Notons de plus que cette sillimanite, identique à celle que l'on voit souvent dans le mica des roches granitiques anciennes, s'est formée exclusivement aux dépens de la biotite et que je n'en ai jamais trouvé de cristaux indépendants. La différence de biréfringence entre ce minéral et l'enstatite est suffisante pour qu'il soit toujours possible de distinguer l'une de l'autre ces deux substances dans une même préparation mince.

Ces enclaves renferment des cavités bulleuses souvent remplies par un produit chloriteux jaunâtre présentant une biréfringence assez élevée; les fibres, toutefois, sont trop fines pour qu'il soit possible d'en étudier les propriétés optiques. D'autres cavités sont remplies par de la calcite ou de la sidérose jaune sphérolitique, montrant en lumière polarisée parallèle, la croix noire et les anneaux colorés des minéraux uniaxes. Quand la sidérose et la calcite sont associées dans la même cavité, la sidérose occupe la partie centrale. Enfin, il reste à signaler des cristaux d'aragonite à pointements aigus qui se développent d'ordinaire autour d'un centre chloriteux. Ils sont englobés par de grandes plages de calcite dont ils se distinguent facilement par une réfringence plus grande. Ces associations d'aragonite et de calcite se rencontrent dans

les enclaves riches en feldspaths régénérés qu'elles entourent souvent. Ces minéraux secondaires occupent vraisemblablement la place de matière vitreuse.

Ajoutons, en terminant, que la cordiérite est quelquefois piquetée de produits micacés secondaires.

En résumé, les enclaves de Thiézac sont remarquables par la fusion plus ou moins complète des feldspaths anciens et dans certains cas par leur recristallisation, la formation de cordiérite, accompagnée, dans le verre résultant de la fusion des éléments anciens de la roche, par des trichites, des cristallites ou même des microlites d'hypersthène et de spinelle. Quant au mica, il se transforme en un mélange de sillimanite et de spinelle violacé.

Haute-Loire[1]. — *a*) Enclaves dans les scories basaltiques.

Volcan de la Denise. Le volcan quaternaire de la Denise, près le Puy, est constitué par une énorme accumulation de cendres et scories basaltiques, activement exploitées comme pouzzolane. Les débris de roches anciennes y sont très abondants, et c'est là certainement le gisement du Plateau Central le plus riche à ce point de vue.

Toutefois, ces roches anciennes sont peu variées de composition minéralogique; ce sont des granulites ou des gneiss granulitiques, pauvres en mica. Les unes sont très quartzeuses, les autres au contraire sont surtout feldspathiques. La cordiérite n'y est pas rare; la sillimanite en cristaux atteignant plusieurs centimètres de longueur et parfois 0^{cm} 5 de largeur y est très abondante, surtout dans les variétés très quartzifères. Le zircon est fréquent comme élément microscopique; il se trouve aussi en cristaux rouges de plusieurs millimètres, allongés suivant l'axe

1. Pour tous renseignements géologiques et pétrographiques sur cette région, voir M. Boule. *Bull. carte géol. de la France*, n° 28, III, 1892.

vertical et présentant les faces m (110), h^1 (100), b^1 (112), a_2 (312). Ces cristaux sont identiques à ceux du Riou Pezzouliou à Espaly, qui ont la même origine. On les rencontre aussi, associés au corindon, dans des enclaves granulitiques du Croustet, près le Puy. Comme élément rare de ces roches anciennes, il faut encore citer l'apatite, le sphène et enfin le rutile, formant de gros grains brun jaune ou de fines aiguilles en inclusions dans le quartz.

Les modifications subies par ces enclaves sont surtout d'ordre physique [1]. Toutes ont perdu de leur cohésion, elles se brisent facilement et s'émiettent sous le choc du marteau. Dans quelques cas, on voit le verre basaltique s'infiltrer dans l'enclave en suivant généralement dans les gneiss les plans de schistosité. Les roches exclusivement feldspathiques ou peu quartzeuses sont parfois plus ou moins complètement fondues et transformées en une masse blanche poreuse et légère, semblable à une ponce trachytique.

L'examen des lames minces montre la façon dont se produit la fusion des éléments feldspathiques. On les voit en quelque sorte se dissoudre en un verre incolore qui tient en suspension de petits débris feldspathiques souvent peu écartés les uns des autres et permettant de reconstituer par la pensée le cristal dont ils proviennent.

Quand la fusion est moins complète, on voit que le feldspath commence par se cliver, se débitant en petits solides rectangulaires par la phériphérie desquels va se produire la fusion. Dans d'autres cas, la fusion a lieu d'une façon irrégulière et capricieuse; les points où elle commence perdent progressivement leur biréfringence. L'apparence présentée par un feldspath en voie de fusion,

1. A. Lacroix, *Bull. carte géol. dét. de la France*, n° 11, t. II, 25, 1890.

lorsqu'on l'examine entre les nicols croisés, est comparable à celle qu'offre un morceau de glace nageant dans un verre d'eau. Très apparent tant qu'il possède une certaine masse, il finit par devenir à peine perceptible quand il est réduit à une mince épaisseur.

J'ai observé un échantillon dans lequel l'oligoclase en voie de fusion commence avant de se désagréger par perdre ses macles suivant la loi de l'albite ; les plages irrégu-

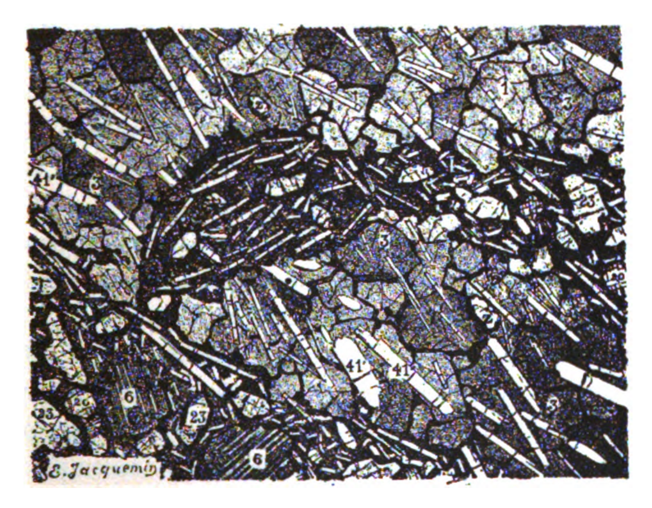


Fig. 3. — Leptynite à sillimanite pénétrée par le verre basaltique (Denise). — Eléments de la leptynite : (1) quartz ; (6) oligoclase ; (41) sillimanite ; (2) zircon. — 28. Olivine dans le verre basaltique.

lières non maclées s'éteignent alors avec l'un des systèmes des bandes hémitropes. Elles n'appartiennent certainement pas à un feldspath distinct, car, en plaçant le feldspath dans la position d'éclairement commun des lames hémitropes, la plage apparaît homogène.

Les feldspaths de ces enclaves sont extrêmement riches en inclusions gazeuses, parfois transformées par voie secondaire en inclusions liquides à bulle mobile.

La chaleur à laquelle ont été soumises les roches riches en quartz a eu pour résultat de les disloquer, de séparer l'un de l'autre chaque grain quartzeux, de briser les cristaux de sillimanite. Les inclusions liquides du quartz se vident ; quelquefois on y observe des inclusions vitreuses, plus rares dans la sillimanite. Lorsque le magma volcanique pénètre dans de semblables roches, il entraîne les éléments peu cohérents, fond les feldspaths ; le zircon, les cristaux allongés de sillimanite sont charriés dans les fissures, s'accumulant sur les bords comme des troncs d'arbres flottés par une rivière (fig. 3).

A ce phénomène de dislocation et de fusion des feldspaths, se joignent des modifications dans leurs propriétés optiques et la recristallisation de quelques minéraux.

L'orthose des roches anciennes de la région est de l'orthose non déformée, avec plan des axes optiques perpendiculaire à g^1 (010). L'action de la chaleur a eu pour résultat de rapprocher l'angle des axes optiques jusqu'à 0° et souvent de faire passer le plan des axes dans g^1 (010); l'orthose est alors déformée. M. des Cloizeaux[1] a fait voir depuis longtemps que ces modifications dans les propriétés optiques de l'orthose s'obtenaient facilement en chauffant ce minéral, et qu'elles devenaient permanentes au delà de 900°.

Les propriétés optiques de l'oligoclase ne sont pas modifiées. La biotite est d'un brun foncé ; par calcination, elle prend des teintes cuivrées, puis elle fond en un verre brun, rempli de produits ferrugineux ; plus rarement, elle se transforme en spinelle vert et hypersthène. Cette transformation très fréquente au rocher Saint-Michel, au Coupet, etc., sera étudiée en détail plus loin ; notons toutefois

1. *C. Rendon*, juillet 1861.

que, dans un échantillon, le spinelle produit dans ces conditions avait une teinte jaune d'or. Le produit de la fusion des feldspaths est en général un verre limpide, présentant quelquefois des fissures perlitiques ; on y observe de petits spinelles incolores ou jaunâtres et de très fins microlites incolores ayant la réfringence d'un pyroxène, une faible biréfringence, difficile à estimer à cause de leurs très petites dimensions. Enfin ils sont négatifs en long ; je ne puis les assimiler avec sûreté à aucun minéral connu.

Dans quelques échantillons, j'ai observé des recristallisations de feldspath ; elles sont du reste une exception, comparativement à ce que l'on observe dans les enclaves des basaltes compactes.

Tantôt le feldspath cristallise en trémies dont les contours sont soulignés par un peu de verre brunâtre ou en microlites irréguliers ou palmés, tantôt il forme des agrégats de petites plages enchevêtrées et confuses, rappelant celles de la pâte de certains trachytes. Ces feldspaths de nouvelle génération sont en général accompagnés de cristaux de spinelle et de cristallites de pyroxène monoclinique ou du minéral inconnu signalé plus haut.

Il reste à décrire quelques particularités observées rarement. Une enclave riche en oligoclase et en quartz, avec quelques cristaux de zircon, renferme de gros grenats très fendillés et en partie fondus en une masse noire opaque. Autour de ces derniers se trouvent de petits cristaux très allongés, jaune d'or, polychroïques ; ils possèdent la réfringence et la biréfringence élevée de l'œgyrine. Ils sont négatifs en long ; leur extinction a lieu sensiblement suivant leur allongement, mais l'irrégularité des contours ne permet pas de voir si elle a lieu rigoureusement suivant l'axe vertical. Je rapporte avec doute ce minéral à l'œgy-

rine; il remplit aussi de petites fissures parcourant la roche, il y est accompagné de spinelle.

Dans un autre échantillon, l'enclave est parcourue par des veines d'un verre brun violacé englobant les éléments infusibles; ce verre est extrêmement riche en petits octaèdres de spinelle et en cristallites d'hypersthène qu'accompagne un peu de pyroxène monoclinique; ces microlites d'hypersthène sont à comparer à ceux des andésites hypersthéniques de l'Asie-Mineure et des mélaphyres à enstatite de l'Aveyron.

La fig. 12 de la planche I représente une enclave riche en verre brunâtre à structure fluidale en partie dévitrifié en sphérolites à croix noire largement estompée. Ces sphérolites de biréfringence faible sont d'allongement négatif; ils sont formés par du feldspath, allongé suivant l'arête de zone $p\ g^1$ (001) (010), mélangé à de la matière vitreuse. Au milieu de ces sphérolites sont disséminés de petits cristaux rectangulaires de cordiérite de nouvelle formation.

La partie fluidale de cette enclave, grâce à ces sphérolites et à ces débris de la roche ancienne, offre une analogie frappante avec certaines rhyolites et particulièrement avec celles du Yellowstone Park.

Plusieurs échantillons sont riches en feldspaths rubéfiés possédant des particularités curieuses. Dans un mémoire précédent, j'ai décrit et figuré[1] un cristal de ce feldspath comme olivine. La confusion peut paraître singulière, mais il est cependant facile de s'y tromper. J'avais alors une seule section mince renfermant une plage perpendiculaire à la bissectrice positive avec axes très écartés; l'extinction avait lieu suivant un clivage dont la trace est

1. *Op. cit.*, p. 35 et fig. 3 (D).

négative. Ces propriétés optiques sont communes aux faces *p* (001) de l'orthose déformée et *p* (001) de l'olivine. L'analogie est grande aussi par la rubéfaction avancée de ce minéral. Il est fendillé suivant ses clivages et suivant des lignes irrégulières (fig. 4, D). Dans chaque fente ou clivage se glisse de l'hématite formant une bordure à

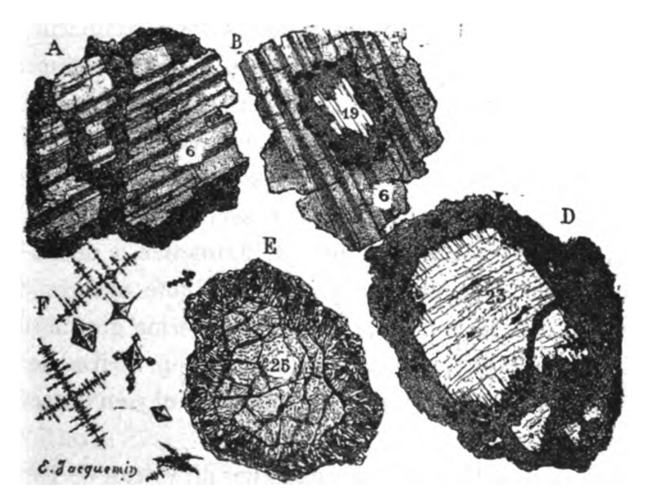


Fig. 4. — A. Oligoclase (6) fondue et traversée par des filonnets de verre avec cristaux de spinelle (Denise).
B. Oligoclase (6) renfermant un fragment de biotite (19) entourée de verre et de spinelles (Saint-Michel).
D. Orthose corrodée et rubéfiée (Denise).
E. Grenat entouré d'une couronne d'hypersthène et de spinelle. (Rocher Corneille.)
F. Cristaux et cristallites de spinelle.

ce cristal, l'imbibant à la façon des olivines rubéfiées. Cette hématite possède un polychroïsme énergique dans les teintes rouge vif et jaune orangé. Le feldspath ainsi imbibé d'hématite semble beaucoup plus réfringent qu'il ne l'est en réalité.

Depuis lors, j'ai recueilli deux nouveaux échantillons présentant des feldspaths semblables, et j'ai pu constater leur véritable nature (orthose et oligoclase). Ils sont fré-

quemment brisés, et dans le verre qui en sépare les fragments se développent de petits octaèdres de spinelle servant de support à des dendrites ferrugineux. Il est assez curieux de remarquer que cette rubéfaction n'atteint pas toujours tous les feldspaths d'une roche, mais seulement quelques plages qui sans doute, plus disloquées par la chaleur, ont mieux absorbé les produits ferrugineux. A l'œil nu, les feldspaths présentant cette particularité sont rouges de cuivre ; ils possédent un éclat métallique des plus prononcés ; leurs clivages sont encore faciles, et il est nécessaire d'écraser les lames pour voir au microscope que la substance rouge ne forme qu'un mince enduit à leur surface. Ils moulent l'oligoclase. (Pl. I, fig. 3.)

Notons en terminant que M. Jannettaz a décrit[1] un échantillon de néphéline provenant d'une enclave de la Denise. Elle formait une masse sans forme géométrique. M. des Cloizeaux, qui en a examiné un petit fragment, a constaté qu'il était à un axe négatif. Je n'ai rien observé de comparable.

Tareyre. — Les scories basaltiques du volcan de Tareyre ressemblent beaucoup à celles de Denise. Dans la carrière où on les exploite, les bombes à olivine, parfois de grande taille, abondent ; on y trouve aussi de la hornblende basaltique et des fragments de granulite ou gneiss granulitique, soit en blocs isolés, soit en petits fragments servant de centre à des bombes basaltiques.

Les scories basaltiques de ce gisement sont remarquablement riches en petits cristaux d'olivine (du premier temps de consolidation) d'une grande perfection de formes.

Les modifications subies par les roches projetées sont semblables à celles qui viennent d'être décrites à la Denise ;

1. *Bull. Soc. min.*, V, 320, 1882.

les gneiss et les granulites sont plus ou moins complètement fondus, et dans le verre bulleux qui résulte de cette fusion sont disséminés de petits fragments quartzeux ou feldspathiques incomplètement détruits.

Par places, le feldspath recristallise sous forme microlitique ; dans le verre incolore sont disséminés du pyroxène incolore et les cristallites rhombiques dont il a déjà été parlé ; plus rarement ces productions sont associées à de petits octaèdres de spinelle ou à de très fins cristallites à squelette octaédrique qui doivent être rapportés au même minéral (fig. 4, F).

La figure 10 de la Planche I montre une enclave de ce gisement. L'échantillon d'où a été tirée la préparation dessinée avait la grosseur d'une noix ; il était englobé dans une bombe basaltique renfermant aussi de petits fragments de péridotite ; la matière basaltique a pénétré dans les fissures de l'enclave et s'y est acidifiée ; elle ne renferme plus que des microlites feldspathiques.

b) Enclaves dans les brèches ignées et les tufs basaltiques.

Le Puy. — Dans la ville même du Puy et dans ses environs immédiats, surgit dans la vallée de la Borne une série de pitons surmontés de divers monuments (statues, église, châteaux en ruines). Ce sont, au Puy, les rochers Saint-Michel, Corneille, etc., et aux environs de cette ville, Ceyssac, Polignac. Ils sont constitués par des *brèches ignées basaltiques* datant du pliocène moyen. Ces brèches sont riches en fragments de basalte, de roches anciennes (gneiss granulitique, granulite à cordiérite) et plus rarement de calcaire oligocène, etc. Ces roches sont cimentées par un verre riche en microlites d'augite et fortement altéré par les actions secondaires.

Dans les enclaves quartzofeldspathiques que nous avons à étudier dans ce chapitre, la composition minéralogique

est assez simple. Outre le quartz, l'orthose et l'oligoclase, la cordiérite bleue en gros cristaux intacts, longtemps prise pour du corindon, la sillimanite en grands cristaux, la biotite et le grenat almandin sont des éléments très fréquents. Le zircon, le sphène, le rutile (moulant la sillimanite) ne sont pas rares; le rutile existe aussi en fines aiguilles capillaires, incluses dans le quartz.

Parmi ces enclaves, il y a deux catégories à faire au point de vue des modifications qu'elles ont subies. Les unes sont fondues et plus ou moins scorifiées à la façon des roches de Denise; elles ne présentent aucun phénomène spécial.

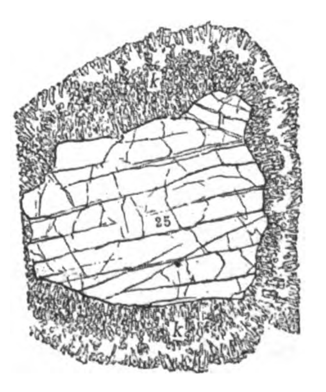


FIG. 5. — Grenat (25) fondu à sa périphérie avec couronne de spinelle et hypersthène récents (k). (Brèche basaltique du Rocher Saint-Michel).

Les autres, et c'est le plus grand nombre, ont été soumises à une température inférieure. Les feldspaths ne sont alors que partiellement fondus.

En général, le grenat et la biotite ont été modifiés, et d'une façon fort remarquable.

La périphérie des grenats (fig. 5) et toutes leurs cassures sont occupées par un mélange de spinelle vert de magnétite et d'hypersthène vert clair. Le spinelle est

presque totalement englobé par de l'hypersthène, tantôt il se présente en octaèdres a^1 (111) distincts, tantôt en chapelets d'octaèdres, affectant d'élégantes constructions constituées par de petits cristaux s'empilant suivant les axes quarternaires du cube (Fig. 4, F.)

L'hypersthène forme des grains irréguliers ou des prismes arrondis, allongés suivant l'arête $h^1 g^1$ (100) (010), soit vert pâle, soit vert foncé et alors très polychroïques avec :

$\mathbf{n}_g$ = vert bouteille
$\mathbf{n}_m$ = jaune
$\mathbf{n}_p$ = brun rougeâtre

Dans les couronnes périphériques, rappelant par leur disposition la kelyphite des serpentines, les cristaux sont souvent implantés normalement à la surface du grenat. Dans l'intérieur des fentes, ils semblent prendre naissance sur la paroi du grenat et remplissent peu à peu les fissures en se rejoignant. Souvent, il reste un intervalle très mince que comble ensuite de la magnétite.

La transformation se fait de proche en proche, et, quand elle est complète, on observe des groupes cristallins dont la figure 3 de la planche III donne une idée.

La biotite se transforme à sa périphérie d'une façon analogue, mais l'hypersthène, en microlites allongés, généralement incolores y est souvent indépendant du spinelle (vert ou violet) qui l'accompagne en petits octaèdres nets. Il y a en outre fréquemment un résidu de verre brun.

Il n'est pas pas rare de ne plus trouver que des moules de ce mica. Dans d'autres cas, on observe encore dans le verre ou au milieu de l'agrégat des minéraux récents de petits fragments de la biotite originelle (fig. 4, B). Dans

un travail précédent[1], l'étude d'un seul échantillon de cette biotite m'avait fait douter de son origine ancienne. Les échantillons que j'ai étudiés depuis ne laissent aucun doute à cet égard. J'avais attribué la formation de ces minéraux nouveaux à l'action du magma basaltique. Aux rochers Saint-Michel et Corneille, la fusion seule du mica et du grenat a suffi pour produire ces recristallisations.

Cheyrac. — Le volcan pliocène de Cheyrac, à cratère encore bien conservé, est formé par des roches identiques à celles des brèches des environs du Puy. Les granulites à cordiérite y sont particulièrement abondantes. Les modifications métamorphiques sont également les mêmes.

Le Coupet. — Le volcan du Coupet (commune de Mazeyrat-Crispinhac, près de la station de Saint-Georges-d'Aurac), est bien connu des minéralogistes par les beaux cristaux de corindon et de zircon que renferment les tufs basaltiques du pliocène moyen; ces cristaux proviennent comme aux environs du Puy de la désagrégation d'enclaves de gneiss granulitiques ou de granulites que l'on rencontre aussi en abondance dans ces mêmes tufs, accompagnés de roches feldspathiques basiques et de péridotites qui seront étudiées dans un chapitre spécial[2].

Ces enclaves acides sont constituées par les mêmes roches qu'à la Denise. Le plus grand nombre d'entre elles sont fondues ou scorifiées et offrent toutes les variétés de modifications décrites dans ce dernier gisement. Quelques-unes sont en outre pénétrées par du verre basaltique qui, se mélangeant au produit de la fusion du mica noir et peut-être du grenat, donne naissance à des nodules cristallisés analogues à ceux des environs du Puy, essentiellement

1. *Bull. carte géol. de la France*, *op. cit.*, 35, fig. 3 (B).
2. La hornblende basaltique et le spinelle sont aussi fréquents dans ces tufs.

formés de spinelle vert et d'hypersthène, mais en différant toutefois par l'existence de feldspath triclinique basique (fig. 6 et pl. I, fig. 7). Dans ces nodules sont souvent englobés des fragments de la roche ancienne (zircon, sillimanite, feldspath) imprégnés de verre brunâtre et tranchant ainsi sur les feldspaths récents, toujours limpides.

Ces nodules sont fréquemment séparés de la roche qui les renferme par une zone de verre brunâtre ne contenant que de fins microlites filiformes de feldspath récent (oligoclase ou andésine).

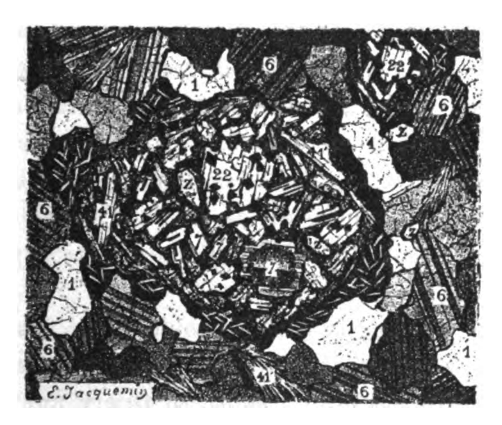


FIG. 6. — Nodule récent dans une enclave granulitique du basalte du Coupet. — Dans le nodule, on voit : (7) labrador; (22) hypersthène ainsi que du spinelle récents, accompagnant du zircon (2) et de la sillimanite (41) non fondus; un fragment de feldspath triclinique ancien, criblé d'inclusions et entouré de feldspath récent limpide. — La granulite est formée par du quartz (1), de l'oligoclase (6), de la sillimanite (41) et du zircon (2).

Le basalte massif est parfois riche en petits grains de quartz, de feldspath, de sillimanite visibles à l'œil nu. Le quartz est alors entouré de son auréole habituelle d'augite; le feldspath se démolit par le mode indiqué figure 12 de la planche III.

Bournac. — Les tufs de Bournac renferment, d'après M. Boule, des fragments de basalte, de péridotite, de roches

grenues basiques, des cristaux de hornblende, d'andésine et enfin des gneiss granulitiques.

Ces derniers, qui seuls doivent être étudiés dans ce chapitre, m'ont été donnés par M. Boule, ils sont souvent très riches en diaspore, accompagné de grenat rose et de rutile. Leur composition est variable, les uns sont très quartzeux, tandis que d'autres sont presque exclusivement feldspathiques.

L'intérêt de ces roches réside surtout dans l'existence du diaspore que j'y ai déjà signalé [1] et qui n'avait jamais été trouvé dans un gisement semblable.

Quant aux modifications subies par ces enclaves, elles se résument dans la fusion des éléments fusibles et l'entraînement dans le basalte du diaspore, du rutile, de la sillimanite et d'une partie du quartz au contact des enclaves. Je n'ai eu du reste à ma disposition qu'un petit nombre d'échantillons, recueillis par M. Boule, en vue de la roche elle-même et non des modifications qu'elle pouvait présenter.

c) Enclaves dans basaltes en coulée.

Orgues d'Espaly. Au dessous des agglomérations de scories basaltiques de la Denise se trouve une coulée de basalte compacte avec belle division columnaire, coulée qui domine la vallée, au dessus d'Espaly.

Dans une petite carrière ouverte dans ce basalte, se trouvent en abondance des enclaves de roches quartzifères (granulite, gneiss granulitique) semblables à celles de Denise.

Les modifications de ces enclaves sont beaucoup plus profondes que dans ce dernier gisement. Englobées dans le basalte compacte, elles n'ont pu se scorifier, elles ont

1. *Bull. Soc. minér.*, XIII, 7, 1890. — Voir aussi Boule, *op. cit.*

fondu plus ou moins complètement en conservant leur forme. Un refroidissement lent a permis à de nombreuses cristallisations de se produire au milieu d'elles.

On trouve des enclaves entièrement transformées en un verre vert bouteille ou vert jaune, identique à celui qui a été décrit plus haut dans les néphélinites du Rossberg, verre qui a été pris autrefois pour une espèce minérale distincte et désignée sous les noms de tachylyte et d'hydrotachylyte.

Il existe tous les passages possibles entre ces enclaves entièrement vitrifiées et d'autres à peine modifiées, au moins en apparence.

Dans les enclaves les moins modifiées, le feldspath fond sur les bords sans recristalliser; tantôt la fusion se fait irrégulièrement, tantôt les feldspaths se divisent en petits solides rectangulaires analogues à ceux qui sont représentés par la figure 12 de la planche III, chacun d'eux fondant progressivement. Dans quelques échantillons, le feldspath est presque entièrement fondu et présente des formes irrégulières et décharnées rappelant celles que montre un fragment de sucre en voie de dissolution.

Les fragments entièrement vitreux montrent au microscope peu ou pas de grains de quartz intacts, disséminés dans du verre, souvent riche en cristallites de pyroxène.

Les phénomènes de recristallisation sont très variables avec les échantillons considérés.

La figure 4 de la planche III montre des fragments d'orthose que parcourent des fentes, remplies par du feldspath de nouvelle génération, exactement orienté sur le cristal ancien. En examinant attentivement la préparation, on voit que la cristallisation des feldspaths s'est faite par les deux bords de la fissure qui peu à peu a été remplie. Au point où se sont réunis les feldspaths récents des deux

parois, on perçoit souvent des formes rectangulaires soulignées par un peu de verre ferrugineux. Ces feldspaths récents renferment des inclusions vitreuses et un peu de pyroxène qui manquent aux feldspaths anciens. On voit en outre dans cette figure un fragment d'oligoclase corrodé et englobé par du feldspath récent dont les bords poussent des prolongements en forme de dents de peigne dans la matière vitreuse ambiante. Du pyroxène en longs microlites est abondamment développé à la périphérie de l'enclave, fortement imprégnée de calcite secondaire épigénisant de la matière vitreuse.

Dans deux autres enclaves, le feldspath de nouvelle génération affecte la forme de très grands sphérolites. Ils naissent, comme précédemment, aux dépens des feldspaths anciens, mais les baguettes, au lieu d'avoir une orientation uniforme, ont une tendance à se grouper autour d'un centre formant ainsi des sphérolites qui atteignent 1^{mm} de diamètre, sphérolites incomplets dans lesquels chaque fibre élémentaire est nettement individualisée, séparée de la voisine par des filaments vitreux en forme de palmes. Par places, ces feldspaths ont un aspect fibreux, formant des gerbes qui, parfois s'enchevètrent et se maclent suivant la loi de Carlsbad (Pl. III, fig. 8).

Une plage montrant cette macle et rigoureusement taillée suivant g^1 (010) m'a permis de déterminer avec précision ce feldspath récent. Il est allongé suivant l'arête $p\,g^1$ (001) (010) comme les sphérolites décrits plus haut, son allongement est donc de signe négatif. L'extinction de chacune des séries de fibres entrecroisées se fait à 14° environ en dehors de l'angle aigu de 52°, formé par les traces p (001) et p' des deux éléments de la macle, c'est-à-dire dans la direction négative. En lumière convergente, on constate l'existence d'un axe optique oblique à la

plaque. Ces propriétés optiques sont celles d'une andésine, voisine de l'oligoclase. Il est intéressant de remarquer que ces feldspaths ne présentent pas la macle suivant la loi de l'albite.

Un autre échantillon montre des sphérolites du même genre, mais à éléments beaucoup plus fins, affectant çà et là des formes palmées et très analogues à celles de la figure 3 de la planche II. Les grains de quartz y sont cerclés de pyroxène microlitique, noyé dans du verre incolore.

Un autre échantillon présente des phénomènes très remarquables. Une plaque mince, taillée au contact de l'enclave et du basalte montre les faits suivants : le basalte normal, riche en olivine est composé en outre de magnétite, d'augite et de labrador en petits microlites. A 2^{mm} de l'enclave, l'olivine disparaît; le feldspath triclinique, plus acide que le labrador, se présente en grandes plages englobant le bisilicate; parfois ce feldspath manque, il est alors remplacé par un verre brunâtre.

Si la partie de l'enclave en contact avec le basalte est du quartz, entre ce dernier et la roche volcanique se développe la bordure habituelle de longues baguettes d'augite incolore (Pl. I, fig. 1); si, au contraire, c'est du feldspath qui occupe la périphérie de l'enclave, il fond et recristallise sous forme de longs cristaux implantés plus ou moins normalement sur la paroi de contact. Ceux-ci prennent souvent des formes palmées et renferment en grande quantité des microlites d'augite, des cristallites grillagés de magnétite ou de très nombreuses et très longues lamelles d'ilménite brun violacé; parfois les formes en trémies font leur apparition. Dans quelques cas, il y a continuité entre les feldspaths recristallisés et ceux de la zone précédente. Ces feldspaths appartiennent au groupe de l'oligoclase.

Quand on s'éloigne de la périphérie de l'enclave, on atteint les feldspaths anciens (orthose, oligoclase), entourés ou sillonnés par une bordure crénelée de feldspath récent non maclé, bordure qui va se fondre avec les feldspaths récents décrits plus haut. Tous les éléments anciens de la roche ont gardé leur position primitive, mais les feldspaths ont fondu sur la périphérie et sont séparés du quartz par du verre incolore avec ou sans traces de recristallisation. La roche est en outre parcourue par des veines d'un verre brun violacé qui a emprunté un peu de substance basaltique à la roche volcanique. Il est criblé de trichites et de cristallites d'augite, formant souvent des groupes palmés autour d'une petite baguette biréfringente d'augite. Ces productions rappellent beaucoup celles qui sont classiques dans le pechstein d'Arran (Ecosse). A ces cristallites s'ajoutent de véritables microlites d'augite, s'accumulant de préférence autour des grains de quartz. Çà et là ils sont accompagnés de traces de feldspath cristallitique, formant un brouillard biréfringent dans lequel on perçoit des formes naissantes.

Enfin, au milieu de ce verre tel qu'il vient d'être décrit, s'observent des globules entièrement cristallisés, atteignant 2 à 3^{mm} et constitués, comme ceux qui ont été étudiés au Coupet, à Saint-Michel, etc., par de l'hypersthène chondritique, englobant des octaèdres verts de spinelle et souvent moulés par du labrador (voir fig. 6 et pl. I, fig. 7 et pl. III, fig. 3). Selon toute vraisemblance, ces globules ont été ici formés aux dépens du grenat.

Une autre enclave est très fondue; les feldspaths peu abondants sont fortement brisés. J'ai observé une plage d'oligoclase d'environ 1^{mmc} brisée en une quarantaine de morceaux, de dimension variable, ayant subi de très petits déplacements par rapport les uns aux autres. Ces

fragments sont cimentés par de l'orthose récente, tantôt grenue, tantôt en plages continues. Dans cette roche, l'hypersthène en microlites ou en cristaux, associé au spinelle, est très abondant ; par places, le verre brunâtre qui imprègne l'enclave renferme des cristaux de cordiérite, semblables à ceux qui sont représentés dans la figure 4 de la planche I. Le quartz l'emportait de beaucoup sur le feldspath dans la roche ancienne.

Enfin, une dernière enclave est extrêmement riche en cordiérite de nouvelle formation en grands cristaux isolés ou groupés en grand nombre à axes parallèles. Ils sont associés à de la sillimanite et à du spinelle violet tellement abondants que l'enclave examinée à l'œil nu est violette.

La sillimanite englobe de grandes plages de staurotide ; elle est en partie primaire (fibrolite) ; une partie cependant semble formée, de même que le spinelle, aux dépens de la biotite.

Fay-le-Froid. — J'ai décrit sommairement[1] quelques enclaves des basaltes de Fay-le-Froid. M. Gonnard m'en a remis récemment de nombreux échantillons ; j'en ai recueilli d'autres sur la route qui conduit de ce village à Saint-Julien-Chapteuil.

Ces enclaves consistent : 1° en fragments d'orthose, offrant les mêmes propriétés et modifications que ceux de Pardines et de Gergovia décrits plus haut ; 2° en fragments de gneiss granulitique ou de granulite.

Ces derniers présentent en général des modifications assez profondes. Les clivages des feldspaths sont souvent largement ouverts ; les inclusions vitreuses sont très abondantes. Au contact du basalte et de l'enclave, on observe une zone dans laquelle le feldspath recristallisé en longues aiguilles diabasiques, affecte parfois la forme de trémies,

1. *Bull. Carte Géol.*, op. cit., p. 38.

grâce au verre qui y est inclus. Les lamelles translucides d'ilménite sont fréquentes en associations palmées. Le feldspath (andésine ?) est mélangé à du pyroxène d'autant plus abondant que l'on se rapproche davantage du basalte. Le quartz en contact avec le basalte est entouré de verre et d'une couronne de longues baguettes de pyroxène incolore.

En dehors de la zone de contact immédiat, on voit les feldspaths transformés en un verre incolore; les uns fondent en se pectinant profondément sur les bords, les autres recristallisent sous forme de trémies ou s'entourent de feldspath de nouvelle génération, dentelé ou irrégulier, souvent riche en augite récente; ce dernier minéral est abondant autour du quartz. Çà et là, on observe du verre brunâtre, riche en petits microlites d'hypersthène ou d'augite, en octaèdres vert clair ou violet de spinelle. Ils représentent probablement le produit de la fusion de la biotite.

Enfin, signalons de nombreux octaèdres très nets de spinelle disséminés dans de grandes plages d'orthose. Ils sont entourés d'une auréole d'un minéral incolore, un peu plus biréfringent que l'orthose ambiante, possédant à peu près la même réfringence qu'elle. Peut-être, est-ce de la cordiérite? On se trouverait alors en présence d'une transformation de biotite en spinelle et cordiérite.

Les basaltes massifs de la même région renferment souvent des fragments d'orthose, d'oligoclase, de quartz; anciens vestiges d'enclaves résorbées. Les feldspaths sont criblés d'inclusions vitreuses; le quartz est entouré de sa zone de verre et de pyroxène. Dans un seul cas, j'ai observé un grain de quartz autour duquel la zone vitreuse manquait. Il était cerclé d'une zone épaisse de longues baguettes incolores d'augite, appuyées sur de l'augite brunâtre grenue qui faisait suite au basalte.

Andésites augitiques. — Un grand nombre de collections renferment des échantillons d'une roche basaltique noire, englobant des cristaux de zircon rouge, identiques comme formes, à ceux qui sont si abondants dans le ruisseau d'Espaly. Les échantillons que j'ai eu l'occasion d'étudier[1] sont constitués soit par des basaltes francs, soit



Fig. 7. — Enclave résorbée dans l'andésite augitique du Moulin Beraud. Le verre renferme des microlites de feldspath et de pyroxène.

par des andésites augitiques, riches en grands cristaux de hornblende résorbée; outre les cristaux macroscopiques de zircon, ils renferment en grand nombre des enclaves microscopiques de feldspath (orthose et oligoclase) et de quartz offrant des phénomènes de résorption et des couronnes périphériques d'augite tout à fait identiques à ce

1. *Bull. Carte Géol. de France*, op. cit., p. 40 (note).

qui a été décrit dans les basaltes des divers gisements étudiés dans ce mémoire.

Ces roches, souvent très riches en calcite secondaire, sont étiquetées comme provenant d'Espaly ou du Puy, sans indications plus précises. M. Boule les a trouvées en place à Espaly[1], près du hameau des Brus.

La fig. 7 représente une enclave résorbée dont il a été question page 26 au sujet des enclaves des andésites augitiques du moulin Beraud, à l'E. de Monastier. Elle provient de la fusion soit d'un fragment d'une roche quartzofeldspathique, soit d'un morceau de quartz. Dans ce cas, les microlites feldspathiques seraient dus à un apport de verre andésitique. Je dois le cliché à l'obligeance de M. Boule.

Ardèche. Faujas de Saint-Fond s'est beaucoup préoccupé des enclaves des basaltes du Vivarais, soit dans son *Mémoire sur le basalte*[3], soit dans sa *Minéralogie des Volcans*[4]. Il y a notamment signalé l'existence de fragments de feldspath (Rochemaure), la fusion plus ou moins complète des enclaves de roches anciennes (*gneiss*, *granite*), à opposer à l'absence de transformation des *nodules à olivine*; il a en outre décrit des enclaves granitiques, partagées en deux par les fissures de retrait, ayant donné naissance aux colonnes basaltiques. Les localités citées plus particulièrement par cet auteur sont les suivantes : à l'extrémité du massif des Coirons, sur les bords du Rhône, le volcan de Chenavari, au dessus de Rochemaure, la montagne de Maillas et le volcan de Montbrul; puis, dans le haut Vivarais, le Pavé basaltique du pont de Bridon, jeté

1. *Op. cit.* 167.
2. *Op. cit.* 154, fig. 40.
3. *Recherches sur les volcans éteints du Vivarais et du Velay.* Paris, 1778, p. 134.
4. *Minéralogie des volcans.* Paris, 1784, p. 107.

sur le Volant, près de Vals, le Pavé de Rigaudel entre Vals et Antraygues, le volcan de la Gravène à Montpezat et celui de Banes près Mayres.

Les *basaltes* du massif des Coirons sont en effet généralement assez riches en enclaves de roches anciennes quartzofeldspathiques. Un fragment de granulite, englobé par le basalte de Rochemaure, m'a présenté de très beaux phénomènes de recristallisation. Les grains de quartz en contact avec le basalte sont entourés d'une large couronne d'augite formée de cristaux allongés, serrés les uns contre les autres. Cette augite est parfois séparée du basalte par une mince zone de larges cristaux d'oligoclase. Le feldspath en contact avec le basalte a fondu et a entièrement recristallisé sous forme de grands microlites, rappelant les feldspaths des diabases. Le basalte a pénétré l'enclave en minces filonnets rendant la roche plus basique et y apportant des microlites d'augite. Par places, il ne reste plus de la roche ancienne que quelques fragments noyés dans un magma microlitique, souvent exclusivement feldspathique et présentant, à quelques millimètres de distance, les structures les plus variées (microlites à bords confus rappelant ceux de quelques trachytes, larges microlites tricliniques semblables à ceux des diabases, grands sphérolites feldspathiques), suivant que les apports locaux du basalte ont plus ou moins modifié la composition du verre résultant de la fusion de l'enclave.

De gros cristaux d'apatite, originairement contenus dans l'enclave, sont criblés d'inclusions gazeuses secondaires.

Cet échantillon est fort remarquable en ce qu'il permet d'observer sur 3 centimètres de surface la plupart des structures des feldspaths recristallisées, figurées dans les pl. I, II et III.

Dans les échantillons du basalte porphyroïde d'Au-

benas, qui seront décrits dans le § 5, les enclaves sont très abondantes et généralement très riches en christianite secondaire.

Vosges. Parmi les échantillons de *néphélinite* d'Essey-la-Côte, que je dois à l'obligeance de M. Vélain, se trouvent quelques enclaves entièrement fondues qui me paraissent avoir été des roches quartzofeldspathiques. Des microlites d'augite très abondants jalonnent d'anciens cristaux de quartz fondu. Ils sont actuellement englobés par de la mésotype ayant totalement épigénisé le verre et les débris de l'enclave.

Prusse rhénane. — *Eifel*. Les *néphélinites* qui se sont épanchées sur les schistes dévoniens de la vallée de l'Uess, près de Bertrich, renferment des enclaves granulitiques très modifiées.

Dans celles que j'ai recueillies en 1891, on ne trouve intacts que du quartz et une petite quantité de feldspath, entourés par un verre incolore, renfermant des cristallites, et de longs cristaux, parfois dentelés de pyroxène, des lamelles d'ilménite. Par places, le feldspath a recristallisé sous forme pectinée, ou constitue des plages à structure diabasique. Au contact de l'enclave, la roche volcanique devient elle-même feldspathique; son pyroxène s'allonge, devient incolore ou verdâtre, tandis que l'olivine disparaît.

Dans les scories du Falkenlei, j'ai trouvé des morceaux de granite extrêmement fondus. On n'observe aucune recristallisation feldspathique. La biotite est en partie fondue et épigénisée par de longues baguettes d'hypersthène, de couleur foncée, très polychroïque, mélangées de magnétite. Ces enclaves rappellent quelques-unes de celles de Denise.

Les Maare de l'Eifel renferment en grande quantité

des enclaves de gneiss, de granite, en général très frittées, mais peu fondues. Il serait fastidieux d'énumérer tous les gisements dans lesquels on trouve des enclaves de ce genre. Je me contenterai de passer en revue les échantillons provenant de la Pulver Maar et des Dauner Maare.

Pulver Maar. — Les bombes granitiques et gneissiques sont connues depuis longtemps dans les tufs des bords du cratère. J'en ai recueilli un grand nombre à droite de la route qui mène à Gillenfeld, à 150 mètres environ du cratère.

Elles sont très friables, composées d'orthose (quelquefois d'anorthose), d'oligoclase, de quartz, de biotite, d'apatite, de zircon, de grenat.

En général, les éléments blancs sont surtout disloqués, fondus seulement à leur périphérie. Je n'ai pas observé de recristallisation de feldspath, mais le développement d'une grande quantité de pyroxène vert vif, qui ne forme généralement pas de petites aiguilles mais des grains arrondis ou de grands cristaux cristallitiques. La biotite se transforme en spinellides et en augite.

Dans d'autres échantillons, la fusion est plus avancée; la biotite, presque entièrement fondue en un verre noir, donne naissance à de l'hypersthène, rappelant celui qui a été signalé plus haut, dans les mêmes conditions, à Falkenlei. Par places, on voit de grands moules de biotite, transformés en spinelle et en un minéral incolore qui semble être de la cordiérite, sans que toutefois il soit possible de le démontrer avec évidence.

Dauner Maare. — Les trois Maare de Daun (Shalkenmehrer Maar, Weinsfelder Maar, Gemünder Maar) contiennent des enclaves de même nature que celles de la Pulver Maar. Les modifications y sont du même ordre. Parmi les échantillons que j'ai recueillis, les variétés

très modifiées, riches en hypersthène, sont abondantes. M. L. Schultz [1] a signalé, en outre, dans ce gisement, des enclaves de granite à amphibole, de sanidinites du type de celles du lac de Laach (à Emmelberg) que je n'ai pas trouvées moi-même.

Environs du lac de Laach. — Les andésites augitiques et les téphrites des environs de Mayen, Niedermendig, etc., sont, comme je l'ai dit plus haut, riches en enclaves quartzofeldspathiques. Ce sont des roches massives ou schisteuses (*gneiss*, *granites et granulites*), généralement pauvres en mica, riches en quartz, orthose, oligoclase, et renfermant parfois beaucoup de sillimanite, du zircon, de l'anorthose, etc.

Dans les échantillons peu modifiés par la chaleur, la biotite est transformée en spinellides, accompagnés parfois d'aiguilles d'augite, souvent jaunies par des produits ferrugineux secondaires ; le feldspath fond, et, dans le verre résultant, on ne voit guère que quelques cristallites pyroxéniques et des octaèdres de spinelle. Les inclusions gazeuses sont toujours très abondantes dans les feldspaths et dans le quartz de ces enclaves ; dans le quartz, elles résultent d'inclusions liquides détruites.

En général, les modifications sont plus intenses que dans les autres gisements que j'ai eu l'occasion d'étudier. Elles se manifestent surtout par des recristallisations de feldspath, accompagnées de formation d'augite.

Les feldspaths commencent par fondre sur leurs bords, suivant leurs clivages, formant ainsi des crénaux, soulignés par la matière vitreuse produite par leur propre fusion ou celle des éléments voisins. Du feldspath nouveau vient recristalliser dans les intervalles ainsi formés, tendant

1. *Verhandl. d. naturh. Vereins d. pr. Rheinl.....*, XLVIII, 205, 1891.

à les remplir. Il s'oriente sur le cristal, mais sa composition n'étant pas la même, ses angles d'extinction sont différents. La fig. 2 de la Pl. V montre une disposition analogue, présentée par des feldspaths enclavés dans des andésites acides.

Dans les enclaves des andésites augitiques de Mayen, Niedermendig, etc., les formes dentelées des feldspaths sont le résultat de recristallisations. Si, en effet, on examine les préparations minces, taillées dans ces enclaves, on voit les éléments anciens apparaître limpides au milieu des produits de recristallisation, riches en résidu vitreux trouble. Les feldspaths dentelés se divisent en deux parties : l'une, centrale, plus ou moins arrondie ou corrodée, formée par les produits anciens ; l'autre, extérieure, représentant les feldspaths de nouvelle génération. Quand le feldspath ancien a été en partie fondu, il s'est trouvé plongé dans un verre qui, par cristallisation, a donné naissance à du feldspath. Mais au fur et à mesure que ces cristallisations s'opéraient, le magma vitreux s'appauvrissait en alcalis, et les feldspaths ne cristallisaient plus qu'en baguettes séparées les unes des autres par un résidu vitreux ou par du pyroxène, mais s'orientant toujours sur les fragments anciens. C'est ainsi qu'ont pris naissance les élégantes formations représentées par les fig. 7, et 10 de la Pl. II. Ces feldspaths de nouvelle génération ne sont souvent pas maclés ; ils appartiennent au groupe oligoclase-andésine. Ils sont allongés suivant l'arête $p\ g^1$ (001) (010), et forment de petites baguettes à sections rectangulaires qui se groupent parfois pour constituer de grands cristaux dont les formes sont souvent faciles à voir, grâce à la matière vitreuse qu'ils emprisonnent (Pl. III, fig. 11).

Tantôt le feldspath ancien domine (Pl. II, fig. 12),

tantôt, au contraire, il est très réduit (Pl. II, fig. 10), ou même absent. La roche est alors entièrement constituée par ces formations dentelées de feldspath, englobant les restes du quartz ancien et de nombreux cristaux de pyroxène.

Ce minéral se forme en très grande abondance en cristaux allongés, souvent creux et parfois aussi en grands cristaux squelettiformes, analogues à ceux de la fig. 8 de la Pl. II. Ce pyroxène est de l'augite vert clair, transformée parfois en œgyrine sur les bords. Il se développe toujours en abondance autour du quartz auquel il forme une bordure, quelquefois riche en matière vitreuse; fréquemment il se produit aussi un peu de biotite.

Les cristallites de magnétite, les grandes palmes d'ilménite, déjà décrites dans plusieurs gisements, ne sont pas rares.

Dans un échantillon provenant de la coulée de Winfeld, le feldspath récent, au lieu de s'orienter sur le feldspath ancien, se groupe autour d'un centre et forme de très longs sphérolites à fibres (d'allongement négatif) plus ou moins serrées, mais toujours distinctes en lumière naturelle, grâce à une petite quantité de verre coloré qui les sépare les unes des autres (Pl. II, fig. 3). Ces sphérolites brunâtres en lames minces, rappellent ceux de certains porphyres pétrosiliceux très feldspathiques.

Souvent la recristallisation du feldspath affecte une autre forme; il se produit de grands cristaux analogues à ceux des diabases. Ils sont souvent associés aux formes précédemment décrites, et se voient souvent au contact immédiat de l'enclave et du basalte (Pl. II, fig. 3, à droite, en haut).

Enfin dans quelques cas plus rares, les feldspaths recristallisent en microlites à contours confus, rappelant ceux de la pâte du trachyte; ils sont alors analogues à ceux que représente la fig. 4 de la Pl. II.

Dans beaucoup d'échantillons, toute trace de l'enclave a disparu, et sa présence n'est traduite que par les feldspaths recristallisés, mélangés d'augite, qui viennent d'être décrits. La structure diabasique (avec résidu vitreux, plus ou moins abondant) est fréquente dans le cas d'enclaves de petite dimension.

Enfin, il n'est pas rare de trouver dans la lave et loin de toute enclave macroscopique, des fragments de quartz (entourés de la zone habituelle de verre et d'augite), de feldspath, de sillimanite, etc.

Les cristaux de zircon rouge, de corindon [1], que l'on rencontre fréquemment dans les roches volcaniques de la région de Laach et notamment dans les laves de Niedermendig, sont au moins en partie les résidus d'enclaves de roches granitiques, analogues à celles que l'on trouve dans des conditions similaires dans la Haute-Loire. D'après M. Pohlig [2], le corindon proviendrait surtout d'enclaves micaschites.

Il y a lieu de faire remarquer que l'orthose des enclaves des gisements de cette région possède généralement un écartement des axes très faible, fort souvent même le minéral présente en lumière convergente l'apparence d'une substance à un axe, avec très faible dislocation de la croix noire. Il n'est pas rare en outre de trouver des échantillons dans lesquels le plan des axes optiques est parallèle à g^1 (010) [orthose déformée].

Les minéraux qui se forment dans les druses, produites par la résorption plus ou moins complète des enclaves, sont les mêmes que ceux qui ont été signalés p. 30, au sujet des enclaves quartzeuses de ces gisements. Il s'y joint des cristaux de feldspath triclinique, souvent creusés en trémie.

1. Lehmann, *op. cit.*, 1874. — Sandberger. *N. J.* 397, 1866 et *Jahrb. d. k. k. R.*, 39, 1883.
2. *Verh. d. nat. Ver. Rheinl. v. Westf.* XXXXV, 106, 1889.

Lac de Laach. — M. J. Lehmann a bien voulu me donner un fragment d'un bloc de lave noire compacte, recueillie par lui sur le bord sud-ouest du lac de Laach. Cet échantillon présente un grand intérêt scientifique, car c'est celui dans lequel M. J. Lehmann a trouvé pour la première fois le quartz recristallisé (pyrogene quartz), dont les cristaux ont été mesurés par lui[1] et par vom Rath[2].

Cette roche renfermant de grands cristaux porphyriques d'olivine et d'augite est une *leucotéphrite à olivine*; les éléments du second temps de consolidation sont constitués par de la magnétite, de l'augite, de la leucite, du labrador et de la néphéline. Des paillettes de biotite moulent les microlites feldspathiques.

Le quartz récent, décrit par M. J. Lehmann, possède les formes de celui qui a été signalé p. 30 dans les enclaves quartzifères de Mayen; il est accompagné de feldspath et d'augite récent. Ces minéraux tapissent les parois d'une cavité primitivement occupée par un fragment de roche quartzo-feldspathique résorbée. L'étude de lames minces, taillées sur les bords de la druse, ne laisse aucun doute à cet égard; on observe une structure et une composition minéralogique analogues à celles que nous avons déjà vues dans les enclaves décrites au paragraphe précédent.

Le feldspath récent se présente en grandes plages non maclées ou en cristaux allongés à formes dentelées, crénelées ou disposées en trémies. Le pyroxène qu'il englobe est soit en microlites, soit en grands cristaux cristallitiques dont les formes sont montrées par la fig. 8 de la Pl. II. On y voit en grand nombre de petits grains, peu distants les uns des autres, groupés pour former le

1. *Op. cit.*, 1877.
2. *Zeitschr. d. d. geol. Gesell.* XXVII, 330, 1875.

squelette d'un grand cristal. Il existe parfois un peu d'olivine dans le feldspath, au contact immédiat de la leucotéphrite.

Peut-être faut-il attribuer à la résorption d'enclaves les druses tapissées de cristaux d'apatite, de néphéline, de magnétite et de biotite que M. J. Lehmann a signalées dans les *leucotéphrites à olivine* de Lorenzfeld (sud-ouest de Laach), et dans lesquelles M. L. Dressel [1] a aussi trouvé du sphène, de la noséane, de l'haüyne, de la sanidine, etc. Il en est peut-être de même aussi pour la leucite, la mélilite, la néphéline, la magnétite, etc. des druses de la *néphélinite* d'Hannebacher Ley, au nord-ouest du lac de Laach. On pourrait à ce point de vue comparer ces minéraux à la leucite que j'ai décrite p. 73 dans un basalte du Mont-Dore.

Siebengebirge et ses environs. Les *basaltes* des environs de Bonn sont riches en enclaves quartzofeldspathiques ; je me contenterai de passer en revue celles de quelques-uns des gisements de cette région.

Finkenberg. — Les enclaves quartzofeldspathiques abondent dans les basaltes du Finkenberg. Celles que j'ai examinées sont formées par une roche à gros grains constituée par de l'orthose, de l'oligoclase et du zircon [2]. Elles ressemblent beaucoup à celles que j'ai décrites à Montaudou et au Puy de la Garde. Les modifications y sont du même ordre : injection de basalte dans l'enclave très disloquée, avec acidification du magma basaltique; fusion plus ou moins avancée de l'enclave avec recristallisation du feldspath sous forme dentelée, palmée, etc., et enfin développement plus ou moins abondant d'augite. Souvent,

1. *Geogn. geol. Skyze der Laachen Vulcangegend*, Münster, 1871.
2. C'est là probablemeut l'origine des cristaux rouges de zircon que l'on trouve parfois dans le basalte de ce gisement.

les feldspaths récents sont orientés sur les feldspaths anciens. Tous les éléments de la roche sont riches en inclusions gazeuses.

Un de mes échantillons montre une fusion presque complète de l'enclave. Au contact du basalte, se développent de longues baguettes creuses d'augite. Par places, on voit aussi du feldspath récent rempli de lamelles d'ilménite et de cristallites de magnétite. L'enclave elle-même est transformée en un verre incolore, riche en très fines aiguilles augitiques. Çà et là, subsistent quelques vestiges de la roche ancienne. La calcite secondaire est abondamment développée dans ces enclaves acides, de même que dans les nodules à olivine qui les accompagnent.

M. Bleibtreu a décrit[1] antérieurement plusieurs enclaves provenant de ce gisement. Les modifications qu'il a signalées sont de l'ordre de celles que j'ai moi-même observées dans mes échantillons. Il a constaté toutefois dans l'une d'elles (ainsi que dans des enclaves du Dächelsberg et du Pétersberg) l'existence de sillimanite qui, par fusion incomplète, donne naissance à du spinelle violet. La sillimanite avait déjà été signalée par vom Rath[2] dans les basaltes du Pétersberg, de Leiberg, Unkel, etc.

Pétersberg. — Je dois à l'obligeance de M. J. Lehmann une enclave feldspathique du basalte du Pétersberg. Elle est constituée par une roche granitique résorbée. Les minéraux recristallisés sont comme de coutume du feldspath et de l'augite. Le feldspath offre la structure diabasique. De grands cristaux allongés suivant $p\,g^1$ (001) (010) sont implantés plus ou moins normalement sur la paroi de contact avec le basalte. Ils sont constitués par des

1. *Zeitschr. d. d. geol. Gesell.* XXXV, 501, 1883.
2. *Pogg. Ann.* CXLVII, 272, voir aussi Sandberger. *Jahrb. d. k. k. Reich.*, 1883, p. 39.

baguettes rectangulaires, ainsi qu'en témoignent leurs sections transversales, presque complètement éteintes. Celles-ci sont presque perpendiculaires à la bissectrice aiguë négative (n_p). L'angle des axes optiques est très faible; le plan des axes est presque perpendiculaire à g^1 (010). L'angle d'extinction est voisin de 0° dans la zone d'allongement. Ce feldspath est vraisemblablement une andésine.

Le pyroxène en grands cristaux, se transformant sur les bords en œgyrine d'un vert d'herbe foncé, est englobé par le feldspath ou s'accole sur les cristaux de ce dernier. Au contact immédiat avec le basalte, le pyroxène devient plus abondant et plus petit. Il se développe un peu de biotite. Le feldspath est moulé parfois par divers produits secondaires sphérolitiques, épigénisant de la matière vitreuse.

M. Bleibtreu [1] a décrit une enclave du même genre qu'il considère, lui aussi, comme une roche granitique recristallisée. Les grands cristaux de pyroxène sont moulés par une substance que ce savant attribue à du feldspath, tandis que Mohl [2] y voyait de la néphéline. L'opinion de M. Bleibtreu me semble devoir être acceptée.

Vom Rath et M. J. Lehmann ont signalé dans les basaltes d'Unkel, Gierswiese, Quegstein, Papelsberg, Jungfernberg, Gross Oelberg, etc., des cristaux de zircon rouges semblables à ceux de Niedermendig, etc., des fragments de hornblende (Finkenberg), de la magnétite titanifère avec de l'oligoclase et du zircon (Unkel) qu'ils considèrent comme provenant d'enclaves de syénites néphéliniques, analogues à un échantillon trouvé au Finkenberg

1. *Op. cit.*, p. 504.
2. *Tageblatt der 46 vers. deutscher Naturforscher u. Aertze in Wiesbaden*, 1873, p. 123.

et constitué par un mélange grenu de hornblende, d'éléolite, de magnétite titanifère, de pyrrhotine et de zircon.

M. J. Lehmann a reconnu depuis[1] que l'éléolite et la hornblende de l'échantillon étudié étaient respectivement de l'apatite et de l'augite.

Le corindon (saphir) se trouve dans les mêmes gisements et dans les mêmes conditions que le zircon ; il a certainement une même origine et doit être considéré comme provenant d'enclaves granitiques résorbées. A peine est-il besoin de rappeler encore l'identité d'origine de ces minéraux avec ceux d'Espaly.

Taunus. — La *téphrite à olivine* de Neurod près Wiesbaden est riche en enclaves très variées dont je n'ai pu me procurer d'échantillons. M. Sandberger les a signalées à plusieurs reprises[2]; du quartz, des gneiss grenatifères, des gneiss à cordiérite, de l'adinole, y sont fréquents. Le quartz en partie fondu est entouré de la zone de verre et d'augite habituelle. Souvent, l'enclave est intacte au contact.

Le même auteur a décrit[3] dans cette téphrite des cristaux de zircon rouge ayant les mêmes formes et la même origine que ceux de Niedermendig, etc.

M. Thürach y a trouvé des enclaves de staurotide[4].

Kaiserstuhl. — M. van Wervecke a décrit[5] une enclave de gneiss dans un filon de *néphélinite,* traversant les calcaires cristallins de Badberg, près Oberbergen. Les éléments intacts sont disséminés dans un verre brunâtre, renfermant des microlites d'augite et du spinelle. Le contact

1. *Jahrb. k. k. geol. Reichsanst.*, XXXIII, 54, 1883.
2. *Id.*, XXXIII, 39, 1883, et *Verhandl. k. k. Geol. R.*, 1884, n° 2, 17.
3. *Neues Jahrb.*, 1888, p. 397.
4. *Verhandl. phys. medic. Gesell. in Würzburg*, XVIII, 48, 1884.
5. *Neues Jahrb.*, 1880, II, 284.

avec la néphélinite est formé par une zone de longues baguettes feldspathiques.

Hesse. — La *néphélinite* de Katzenschneisse contient des enclaves granitiques dont j'ai eu l'occasion d'étudier un échantillon, grâce à l'obligeance de M. Chelius. Les éléments blancs anciens sont en partie fondus, le quartz subsiste presque seul en gros grains arrondis ; la biotite est transformée en verre brun, ayant gardé la forme du minéral originel. Tous les éléments primordiaux de la roche sont noyés dans un verre brunâtre, très riche en petits cristaux de cordiérite.

Ils présentent une particularité que je n'ai observée que dans ce gisement ; ils possèdent des macles à 90° et 45°, analogues à celles de la staurotide. Elles sont très fréquentes. On observe, en outre, de nombreux enchevêtrements de cristaux.

Les enclaves granitiques de la *néphélinite* de Steinbuckel près Traisa présentent des recristallisations confuses de feldspath avec cristallites pyroxéniques et octaèdres de spinelle.

M. Chelius[1] a décrit des enclaves de gneiss dans les *basaltes* (Doleritbasalt) de Mitlechtern (section Erbach), dans lesquels la biotite et la hornblende ont été fondues, l'enclave est pénétrée par le basalte ; les feldspaths sont en voie de fusion et le quartz est entouré d'augite de nouvelle formation.

Les enclaves granitiques que j'ai recueillies dans la *néphélinite* du Rossberg, près Rossdorf, présentent de remarquables recristallisations, analogues à celles des enclaves des bords du Rhin. Dans un échantillon, l'enclave entièrement fondue est transformée en un verre à fissures

1. *Notizbl. des Vereins f. Erdkunde zu Darmstadt*, 1888, IV. Folge S. 31.

perlitiques. Les phénomènes secondaires ont fortement altéré ces enclaves et y ont développé une grande quantité de zéolites, de la calcite, de l'aragonite et même du quartz fibreux. Nous avons vu, p. 36, quels sont les produits de la fusion des enclaves quartzeuses des mêmes gisements.

Habitschwald. Les enclaves granitiques des *limburgites* du Haüschenberg, près Rothwesten, au nord de Cassel, décrites par M. Rinne[1], offrent des modifications du même ordre que celles que nous venons de passer en revue dans les gisements précédents.

M. Max Bauer a donné[2] une très intéressante description des enclaves de nature variée, qui se rencontrent dans le *basalte* de Stempel, près Marburg. Celles qui dépendent de ce chapitre sont constituées par des granites, des gneiss à cordiérite, des fragments de feldspaths, des gneiss amphiboliques quartzifères, etc. Les phénomènes de fusion des feldspaths et de recristallisation avec orientation des feldspaths récents sur les fragments anciens, ainsi que la production de tridymite y sont fréquents. Mais le fait le plus curieux cité par l'auteur consiste dans l'existence d'une amphibole bleue (glaucophane) accompagnant le spinelle violet dans du verre, qui résulte de la fusion d'enclaves essentiellement composées de feldspath orthose et d'un peu de néphéline. Cette production de glaucophane est un fait unique que je n'ai eu l'occasion d'observer dans aucune des nombreuses enclaves que j'ai étudiées jusqu'à ce jour.

M. Bauer considère les enclaves dont il s'agit comme des syénites néphéliniques; mais on peut se demander si l'amphibole sodique en question ne serait pas primaire

1. *Sitzungb. d. k. pr. Akad. d. Wissensch. zu Berlin*, 1024, 1889.
2. *Neues. Jahrb.*, 1891. II, 231.

dans l'enclave et non de nouvelle formation. Dans tous les cas, il y a là un fait très intéressant qui mérite d'appeler l'attention.

Höhgau. — Les *basaltes à mélilite et néphéline* du Höhgau ne sont pas riches en enclaves de roches anciennes. J'ai cependant recueilli, en 1891, quelques échantillons de granite, enclavés dans la roche de Sennhof, sur le flanc sud du Hohenstoffeln. Les plus gros fragments ont 5 cent. de diamètre ; ils sont souvent plus ou moins fondus, et l'on distingue à l'œil nu un verre brun verdâtre, renfermant des fragments de la roche intacte.

L'examen microscopique ne montre rien de particulièrement intéressant. La biotite est tranformée en agrégats de fines aiguilles de sillimanite, diffusant la lumière : elles sont accompagnées par de petits octaèdres de spinelle vert qui existent souvent seuls.

Le quartz, riche en inclusions vitreuses et gazeuses, est fendillé, imprégné de calcite qui remplit ses fissures. Les feldspaths sont plus ou moins fondus suivant les échantillons. Fréquemment, on les voit recristalliser toujours sans régularité, tantôt formant aux fragments feldspathiques intacts une mince bordure crénelée, tantôt constituant une pâte finement cristalline. Les éléments de cette dernière sont de petites plages irrégulières dans lesquelles on distingue quelquefois des microlites allongés d'oligoclase à contours jalonnés par des cristallites de magnétite.

Dans plusieurs échantillons, il existe en abondance une matière vitreuse, jaunâtre, riche en produits secondaires.

En résumé, les modifications subies par les enclaves de granite dans les basaltes à mélilite sont identiques à celles des enclaves des basaltes feldspathiques. Dans le cas étudié, les recristallisations feldspathiques sont peu intenses.

Saxe. — Les *néphélinites* de Bübenick, près Lobau, sont connues pour leurs enclaves granitiques qui ont été décrites en très grand détail par M. O. Beyer[1]. Dans les échantillons que j'ai examinés, j'ai retrouvé la plupart des faits signalés par ce savant; la fusion est plus ou moins intense, le verre de l'enclave est souvent mélangé au verre basaltique; on y observe des recristallisations de feldspath, le développement de microlites d'augite, de cordiérite, de rutile, de spinelle. Quand le verre est trop acide, il ne recristallise pas, il présente alors des fissures perlitiques, limitant des globules qui montrent les phénomènes de trempe, décrits par M. Fouqué dans les perlites de Santorin.

Silésie. — Je dois à l'obligeance de M. J. Lehmann une enclave de granite dans le *basalte* du Breitenberg, en Striegau.

C'est un granite normal (zircon, biotite, oligoclase, orthose, quartz). Il présente des phénomènes de recristallisation intéressants. Les feldspaths anciens sont imparfaitement fondus; leurs bords sont souvent crénelés et garnis d'une zone de feldspath récent. Ce dernier remplit les intervalles qui prennent naissance par la fusion de l'enclave. Il forme tantôt de petits microlites rectangulaires ou à bords confus, s'enchevêtrant pour donner une pâte analogue à celle des trachytes (Pl. II, fig. 11), tantôt, au contraire, des microlites très allongés prenant parfois la structure en trémies ou se groupant en gerbes. Les feldspaths anciens, fendillés, sont parcourus aussi par des traînées de ces feldspaths récents, qui sont faciles à distinguer, même en lumière naturelle; ils apparaissent en plages troubles, grâce à la petite quantité de matière vitreuse qui les cimente.

1. *Tschermak's min. u. petr. Mittheil.*, X, 15, 1888.

La biotite est transformée en spinellides opaques, et en petits microlites allongés de pyroxène (hypersthène ?), entièrement épigénis en une substance verdâtre, analogue à celle des enclaves de Saint-Anthême que j'ai rapportée à la bastite. Ces mêmes microlites se développent autour des grains de quartz.

Trippke, qui a étudié les enclaves de ce gisement, y signale [1] la transformation du quartz en tridymite, la formation de ce minéral associé au quartz dans les druses de l'enclave.

Bohême. — M. von Foullon a décrit [2] des enclaves de granite dans le basalte du Rollberge, près Niemes; ce basalte recouvre des grès crétacés ; le granite le plus voisin se trouve à 20 kil. au Nord-Est, près de Reichenberg.

Le basalte est formé de quartz, oligoclase, mica (transformé) ; il existe quelquefois de la calcédoine secondaire.

Dans le quartz, les inclusions gazeuses et vitreuses sont abondantes ; il en part des fissures, dirigées suivant l'axe ou perpendiculairement. Des traînées de verre celluleux, riche en trichites, paraissent occuper la place de la biotite, toujours entièrement fondue.

Une seconde variété d'enclave renferme de grandes plages feldspathiques et du quartz en proportion variable. On peut distinguer dans l'enclave trois zones. En partant du basalte, une zone mal limitée est constituée par de longs cristaux de labrador, ne présentant que la macle de Carlsbad; ils sont implantés plus ou moins normalement sur la paroi de contact ; ces feldspaths sont mélan-

1. *Zeitschr. geol. Gesell.*, XXX, 157, 1878, et *Correspondanz Blatt der naturhist. Vereins der preuss. Rheinl. Westph.*, 1880, 141. Voir aussi M. Chrustschoff (*Tsch. miner. Mitth.*, VII, 188, 298, 1885), qui a trouvé des inclusions vitreuses secondaires dans le zircon et a rencontré en outre du zircon de nouvelle formation.

2. *Jahrb. d. k. k. geol. Reichs.*, XXXVIII, 603, 1888.

gés à de l'augite, de la hornblende et un peu de biotite et de magnétite. Au voisinage du quartz, on voit des associations micropegmatoïdes de feldspath et de hornblende (?) brun clair, peu polychroïque, un oxyde ferrugineux en longues baguettes, enfin des plages de micropegmatite ou plutôt de feldspaths ayant la structure et la composition de la micropegmatite. Dans une seule préparation, on voit parfois plusieurs centaines de plages de ces micropegmatites qui englobent de petits microlites d'augite. La biotite se développe localement, surtout autour de la magnétite; cette dernière est en grains plus gros que dans le basalte.

Quant au basalte, il a perdu son olivine au contact.

La seconde zone est très mal séparée de la première ; les grains de quartz s'y entourent de la couronne d'augite ou d'un verre grisâtre ; les feldspaths deviennent bulleux ; ils recristallisent avec de l'augite. Les feldspaths tricliniques sont les plus modifiés.

La troisième zone présente, entre le quartz et les feldspaths, des parties grisâtres, diffusant la lumière et composées de particules d'augite, d'oxyde de fer, etc., ou des agglomérations d'augite, de hornblende et de feldspath en trémies. Tous ces minéraux sont dus, d'après M. von Foullon, à la fusion de la biotite et à une imprégnation par capillarité de la matière isotrope du basalte ; le quartz et le feldspath de l'enclave ne sont pas suffisants pour expliquer la formation de l'augite ; la biotite même est insuffisante pour fournir la chaux nécessaire.

Grâce à l'obligeance de M. von Foullon, j'ai pu examiner deux enclaves de ce gisement : la zone de contact y offre la structure diabasique, les cristaux feldspathiques, tantôt sont très allongés, tantôt forment de larges plages ; l'augite, très abondante, est cerclée d'œgyrine vert foncé.

Sardaigne. — M. Lovisato m'a remis de très intéressantes enclaves de granite dans le basalte de Dorgali. Elles sont remarquables en ce que la roche ancienne a fusé dans le basalte. Localement, le granite est partiellement fondu et les éléments intacts sont disséminés dans une pâte feldspathique recristallisée ayant l'apparence de celle d'un trachyte. (Pl. II, fig. 4.) Ces recristallisations se sont en général effectuées sans apport de matière basaltique. On n'y rencontre un peu de pyroxène qu'aux alentours des anciens cristaux de biotite dont la forme est reconnaissable grâce aux nombreux octaèdres de spinellides qui l'épigénisent. Dans un échantillon, j'ai observé de la biotite de nouvelle génération.

Quand l'enclave est imbibée par le basalte, celui-ci s'acidifie beaucoup, les microlites de feldspath triclinique s'éteignent alors sous de petits angles et les microlites d'augite deviennent rares.

Ascension. — Darwin a signalé [1], dans les roches volcaniques de Green Mountain l'existence d'enclaves de roches anciennes (granites, porphyres, diorites micacées) qui ont été à nouveau étudiées par M. Renard [2]. Ce savant y a examiné des granites, avec ou sans amphibole. Ces roches sont peu modifiées, leur quartz est craquelé, riche en inclusions à bulles et en cristaux cubiques, les feldspaths en inclusions vitreuses ou gazeuses.

Ces enclaves se rencontrent aussi bien dans les trachytes que dans les andésites ou les basaltes.

Philippines. — Dans les *labradorites augitiques* à pyroxène ou hornblende (passant aux basaltes) de l'île Caminguin, se trouvent des enclaves de quartz (voy. p. 43)

1. *Geol. Observ.*, 40.
2. *The Physics and Chemistry of the Voyage of the N. M. S. Challenger*, Part. VII, 62, 1889.

et de granite qui ont été décrites par M. Renard[1]. Les feldspaths sont en partie fondus (l'orthose et le microcline plus vite que les plagioclases); ils sont riches en inclusions gazeuses qui abondent aussi dans le quartz très craquelé. La biotite est en voie de résorption et de transformation en augite. La roche contient un peu d'ilménite cerclée de rutile.

Australie. — Le *basalte* de Waterworks Tunnel (Anaky Hills) près Geelong (Victoria) renferme de très nombreuses enclaves de fragments de roches anciennes. L'échantillon que j'ai examiné montre, même à l'œil nu, une grande quantité de petits grains de quartz, d'orthose et d'oligoclase.

Le quartz est riche en inclusions gazeuzes, la couronne d'augite est constante; les cristaux pyroxéniques sont vert clair; la zone vitreuse est plus ou moins large. Les fragments feldspathiques, rarement nourris sur les bords, sont très riches en inclusions vitreuses et en petits grains d'augite et de magnétite.

Le même basalte renferme des fragments d'oligoclase ayant sans doute la même origine. Leurs propriétés optiques ont été étudiées par M. des Cloizeaux[2].

Mongolie. — M. P. Venukoff a décrit[3] une enclave granitique dans un *basalte* provenant des environs de Sikoou-Myn, près de la ville Koukou-Khoto.

Au contact du quartz, s'observe la zone vitreuse avec microlites d'augite et lamelles d'ilménite; la biotite est fondue en verre brun avec magnétite et augite. Les

1. *Op. cit.*, p. 169.
2. *Bull. Soc. minér.*, VII, 305, 1884.
3. Les roches basaltiques de la Mongolie (en russe avec résumé en français). Saint-Pétersbourg, 1889, et résumé dans *Bull. Soc. belge de géologie*, II, 446, 1888.

feldspaths sont plus ou moins démolis, suivant le processus ordinaire, sans que l'auteur décrive de recristallisation.

IV. — Enclaves feldspathiques non quartzifères.

Résumé et conclusions. — Les enclaves qui font essentiellement l'objet de ce chapitre sont des roches anciennes feldspathiques non quartzifères. Leur origine ne sera pas toujours aussi facile à établir que celle des enclaves étudiées dans le chapitre précédent, ce qui s'explique du reste, leur composition chimique les rapprochant souvent de celle de la roche englobante.

Les basaltes d'un assez grand nombre de gisements du Plateau Central de la France renferment des enclaves de roches grenues basiques, composées le plus souvent d'hypersthène, d'augite et de feldspath triclinique (andésine, labrador ou anorthite). On peut se demander quelle est l'origine de ces roches qui ne sont pas connues en place dans la région. Sont-elles des produits de cristallisation intratellurique du magma basaltique ou bien au contraire doivent-elles être considérées comme des roches anciennes, arrachées par la roche volcanique au même titre que les granites et les gneiss qui les accompagnent en enclaves?

Bien que, dans quelques cas, il y ait une certaine analogie entre leur composition minéralogique et celle du basalte, j'ai rejeté la première hypothèse, car j'ai trouvé des passages entre ces roches et d'autres, contenant du grenat almandin, de la biotite et du quartz, et ayant une origine ancienne incontestable. Il est probable que l'étude détaillée de l'Auvergne permettra de rencontrer en place ces roches qui peuvent être, suivant les cas, soit des diabases ou

norites intrusives, soit des accidents basiques de la série gneissique. Des roches feldspathiques à pyroxène ont été trouvées en enclaves dans d'autres régions volcaniques. Je les ai placées dans ce groupe par analogie avec celles du Plateau Central de la France. Je dois toutefois reconnaître que, pour quelques-unes de ces roches, le doute est permis au sujet de leur origine.

Tantôt ces enclaves n'offrent aucune modification, tantôt, au contraire (et il est facile de l'observer surtout dans les enclaves des basaltes massifs), elles sont plus ou moins transformées et toujours de la même façon.

Suivant les gisements, tous les éléments ou quelques-uns d'entre eux seulement se chargent d'inclusions gazeuses vitreuses ou liquides, parfois extrêmement abondantes.

L'hypersthène, puis le pyroxène monoclinique fondent à leur périphérie ou suivant leurs cassures. Il se produit à leurs dépens de l'augite microlitique et des spinelles, généralement englobés par un résidu vitreux ; ces microlites pyroxéniques sont soit disposées d'une façon quelconque, soit groupés de façon à former des squelettes de grands cristaux (Pl. III, fig. 7 et Pl. VIII, fig. 9). Ils sont très souvent accompagnés ou même remplacés par des cristaux d'olivine, offrant la particularité curieuse d'être allongés suivant l'axe vertical comme les microlites du même minéral, que l'on trouve dans les andésites augitiques d'Auvergne (Pl. VIII, fig. 5 et 9). Le mica et le grenat se transforment en un mélange de spinelle, de microlites d'hypersthène et de verre brunâtre.

Quand la transformation est poussée plus loin, le feldspath fond lui-même et recristallise sous forme microlitique. Ces modifications peuvent se faire sans apport de matière basaltique ; dans quelques cas (Pardines), on voit au contraire le verre basaltique pénétrer entre les éléments

en partie fondus de l'enclave et recristalliser sous une forme plus cristalline.

Il est intéressant de remarquer que les modifications subies par l'hypersthène et le pyroxène monoclinique sont identiquement les mêmes que celles que l'on observe dans les enclaves des nodules à olivine, soumises aux mêmes conditions, et que, d'autre part, les transformations du mica et du grenat sont semblables à celles que nous avons décrites dans les enclaves quartzofeldspathiques.

Ces faits prouvent que ces modifications dépendent uniquement des conditions physiques auxquelles ont été soumises les enclaves, et qu'elles se sont opérées sans apport étranger.

Dans toutes les régions volcaniques, on rencontre en enclaves, dans les roches basaltoïdes, des fragments de roches provenant des éruptions volcaniques antérieures. Nous ne les étudierons ici qu'au point de vue du métamorphisme. Les enclaves de roches basiques ne sont pas modifiées en général[1].

Quant aux roches volcaniques acides englobées, elles sont plus ou moins fondues; elles recristallisent ensuite par refroidissement. Il devient alors assez difficile de faire la part de la cristallisation ancienne et de la recristallisa-

1. Il faut signaler ici cependant, comme exception, les célèbres bombes de l'éruption du Vésuve en 1872, étudiées par A. Scacchi (*Atti d. R. Acc., Napoli*, V. 1872) et par Vom Rath (*Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.* 221, 1873.) Elles sont constituées par des laves leucitiques anciennes, analogues à celles de la Somma, corrodées, pénétrées et parfois soudées par des minéraux de nouvelle formation, produits vraisemblablement par action de fumerolles : ces minéraux très nombreux sont les suivants : microsommite, leucite, sodalite, cavolinite, augite, hornblende, mica, magnétite, oligiste. Je ferai remarquer la frappante analogie de ce mode de formation de minéraux avec celle que l'on observe au Mont-Dore, dans les enclaves d'andésites, recueillies au milieu des trachytes (voir plus loin). Elle montre comment les roches leucitiques basiques se rapprochent des roches acides au point de vue des phénomènes chimiques qui ont accompagné leur émission. J'aurai l'occasion de revenir sur ce fait.

tion, l'une et l'autre s'étant effectuées dans des conditions analogues et par suite ayant donné des produits semblables ou peu différents.

C'est pour cette raison que je ne fais ici figurer que pour mémoire les enclaves de roches volcaniques acides dans les roches volcaniques basiques.

A. *Roches anciennes basiques.*

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme.* — Puy de Plantat. — L'enclave étudiée est grenue, composée d'hypersthène, d'oligoclase et de quartz, c'est probablement une norite quartzifère. Il existe quelques grands cristaux polychroïques d'apatite et de zircon. Les éléments essentiels de la roche ont de 1 à 2^{mm} de plus grande dimension. L'hypersthène vert clair est très polychroïque ; il possède les inclusions brunes de l'hypersthène des roches anciennes.

Les modifications subies par l'enclave sont localisées à la périphérie des grains de feldspath et d'hypersthène. Quand on examine la préparation en lumière naturelle, on voit sur les bords des feldspaths des parties diffusant la lumière. Les feldspaths, en effet, subissent sur leurs bords l'émiettement en solides rectangulaires, représentés par la fig. 12 de la pl. III, puis fondent et recristallisent sous forme de petits microlites rectangulaires tricliniques, possédant des extinctions presque longitudinales; souvent leurs bords deviennent confus et la plage ressemble à la pâte de certains trachytes. Quand elle est au contact d'un cristal d'hypersthène, alors, de la magnétite, des cristallites ou des microlites d'augite se mêlent aux microlites feldspathiques : l'hypersthène est fondu ou corrodé à sa périphérie et couvert de grains d'augite et de magnétite de nouvelle génération. (Pl. VIII, fig. 1.)

Cette enclave est fendillée et imprégnée de calcite, je l'ai trouvée associée aux enclaves granitiques, décrites page 65 dans le *basalte* de cette localité.

Montaudou. — J'ai recueilli dans le *basalte* de Montaudou une enclave de diabase-norite, composée d'andésine en gros grains, moulant du pyroxène et de l'hypersthène vert clair; la roche renferme en outre de la magnétite, elle est à plus grands éléments que la précédente.

Le pyroxène est extraordinairement riche en inclusions vitreuses avec bulles de gaz et grains de magnétite. L'hypersthène offre les mêmes caractères que celui de la roche qui vient d'être décrite. Il ne renferme pas d'inclusions vitreuses. Le feldspath, au contraire, se charge d'inclusions vitreuses sur la périphérie des plages. Çà et là, et particulièrement autour du pyroxène, on observe de petits nodules de verre brun rougeâtre. Le feldspath, au contact de ce verre, présente des formes rectangulaires ou crénelées par corrosion; par places même, il recristallise sous forme de longs microlites, toujours clairsemés. Enfin le pyroxène est souvent entouré d'augite de nouvelle génération, affectant en général des formes dendritiques.

Pardines. — J'ai déjà décrit[1] une enclave de diabase recueillie par M. Michel Lévy dans le *basalte* de Pardines. Elle est constituée par du pyroxène et de l'anorthite grenus. Les cristaux sont fondus sur les bords et remplacés par un mélange de microlites de labrador et d'olivine (transformée en produits ferrugineux rouges), avec un peu d'augite. L'olivine est orientée de façon à affecter la forme de squelettes de grands cristaux; çà et là, on observe du verre riche en cristallites ferrugineux. Le pyroxène contient de nombreuses inclusions vitreuses à bulle.

1. *Bull. Soc. géol.* op. cit., 874, et pl. XXVII, fig. 1.

Ces modifications sont semblables à celles des enclaves de norites du Coupet (Pl. VIII, fig. 5), décrites plus loin, mais elles sont beaucoup plus intenses ; le feldspath y est plus abondant.

Les baguettes d'olivine sont trop arrondies et trop altérées pour qu'il soit possible de déterminer la direction de leur allongement.

Banne d'Ordenche. — Le *basalte* qui couronne la Banne d'Ordenche renferme des enclaves dont M. P. Gautier m'a remis un échantillon, de la grosseur du poing. Il est composé en grande partie par du labrador vitreux et du pyroxène brun verdâtre pléochroïque. On observe, en outre, un peu de magnétite et d'apatite. Au contact avec le basalte, il n'y a pas de zone nettement fondue; çà et là, cependant, quelques traces de fusion sont perceptibles, mais sans recristallisation notable. La seule modification observée consiste dans une quantité considérable d'inclusions gazeuses et liquides à bulle mobile (d'origine secondaire), qui parcourent le pyroxène et surtout le feldspath qui en est obscurci.

Je considère cette enclave comme formée par un bloc de diabase cambrienne, arrachée à la profondeur et devant à son éloignement de la surface la fraîcheur qui la distingue des diabases en place dans la région.

L'échantillon que j'ai étudié présente une particularité remarquable; il renferme la veinule de leucite décrite page 73.

Cantal. — Murat. — Les enclaves grenues des *tufs basaltiques* des environs de Murat (route d'Empalat), sont constituées par des norites à pyroxène, semblables à celles qui viennent d'être décrites; elles ne présentent pas de modifications notables.

Haute-Loire. — Le Puy. — J'ai trouvé dans les *tufs*

basaltiques du rocher Saint-Michel, au Puy, deux enclaves de norite.

La première, à éléments de 0^{mm} 5 de plus grande dimension, est très riche en hypersthène fendillé, en voie de transformation en bastite. Le feldspath triclinique est de l'anorthite; il existe beaucoup de biotite postérieure à l'hypersthène et une petite quantité de grenat almandin. Tous les éléments de la roche sont généralement intacts: cependant quelques lamelles de biotite sont fondues en un verre brun, riche en octaèdres de spinelle et en microlites d'hypersthène. Le grenat est également entouré par une zone vitreuse dans laquelle on observe les mêmes minéraux. Les octaèdres de spinelle vert sont allongés suivant un des axes quaternaires et affectent souvent des formes cristallitiques. On voit que ces produits de transformation sont identiques à ceux que nous avons constatés dans les mêmes conditions, au milieu des gneiss granulitiques du même gisement. Toutefois, dans le cas présent, les éléments recristallisés sont toujours clairsemés.

La seconde enclave ne renferme plus que du feldspath triclinique, de l'hypersthène et du pyroxène vert clair. Le feldspath diffuse la lumière sur ses bords, grâce à de nombreuses inclusions gazeuses. Les bisilicates sont en voie de résorption et se transforment en cristaux d'augite creusés de nombreuses cavités affectant les formes dentelées, enserrées dans une bordure continue que représente la pl. II, fig. 8.

Le centre de ces cristaux de pyroxène est, en général, occupé par un cristal d'olivine qui se distingue facilement par sa limpidité et sa biréfringence, du pyroxène périphérique. (Pl. VIII, fig. 9.) Cette olivine est allongée suivant la zone h^1 g^1 (100) (010), comme celle que M. Michel Lévy

a décrite à l'état de microlites dans les andésites et labradorites de la chaîne des Puys. Ces cristaux présentent les formes g^1 (010), g^3 (120), p (001). Les sections transversales, avec profils g^1 g^3, sont fort caractéristiques. Les propriétés optiques sont celles de l'olivine normale.

Le pyroxène récent est extrêmement riche en inclusions de magnétite qui manquent aux pyroxènes anciens. L'olivine contient aussi beaucoup d'inclusions ferrugineuses. Il existe un résidu vitreux, localement transformé en christianite sphérolitique.

Le Coupet. — J'ai recueilli deux échantillons de norite dans les *tufs basaltiques* du Coupet ; ce sont des roches à gros grains composées, l'une d'anorthite et d'hypersthène ; l'autre des mêmes éléments avec, en outre, du pyroxène monoclinique.

Dans la première, l'hypersthène renferme les inclusions ferrugineuses des roches anciennes qui manquent dans celui de la seconde. L'anorthite présente des macles très fines, suivant la loi de l'albite, et très régulièrement associées à celle de la péricline et de Carlsbad. L'angle d'extinction dans g^1 (010) dépasse — 45°. Cette enclave n'offre aucune modification.

La seconde mérite une étude détaillée ; aux minéraux énoncés plus haut, s'ajoute un peu de biotite. La partie de la roche, voisine du basalte, renferme en grande abondance de longues baguettes d'olivine, souvent orientées en grand nombre dans une même direction pour former un squelette de grand cristal. Elles sont, en général, transformées en ce corps brun rouge qui épigénise si souvent l'olivine. Localement, ces baguettes d'olivine sont traversées par de fines lamelles de magnétite, simulant les échelons d'une échelle. Elles sont fréquemment accompagnées d'augite (Pl. VIII, fig. 5).

Ces minéraux de nouvelle formation s'insinuent entre les éléments normaux de la roche, moulent le pyroxène et forment parfois de petits nodules dans lesquels apparaissent des feldspaths tricliniques microlitiques.

Il faut considérer tous ces minéraux nouvellement formés comme le résultat de l'injection dans l'enclave de la matière basaltique qui, sans doute rendue plus basique par fusion partielle de la périphérie de l'enclave, y a laissé déposer les minéraux qui viennent d'être décrits.

Fay le Froid. — Les *basaltes* dans lesquels se trouvent les enclaves de roches granitiques, décrites plus haut, renferment quelques enclaves grenues de norites dont M. Gonnard m'a remis plusieurs échantillons. Elles sont constituées par de gros grains de feldspath triclinique, d'hypersthène seul ou accompagné d'augite.

Les inclusions gazeuses sont abondantes dans tous les éléments, elles sont disposées en traînées, passant souvent à travers plusieurs plages contiguës. Les modifications observées dans quelques-unes de ces norites sont semblables à celles qui ont été étudiées dans la dernière enclave du Coupet.

Tareyre. — Les *scories basaltiques* de Tareyre renferment des enclaves de norites pyroxéniques non modifiées. Le feldspath triclinique (andésine) est criblé d'inclusions gazeuses.

Bournac. — Les *tufs basaltiques* de Bournac contiennent également des fragments de norites, très riches en hypersthène, identiques à celles de Tareyre.

Ardèche. Roche-Sauve, près Privas. — C'est au même type pétrographique qu'il faut rattacher les enclaves des *basaltes* de Roche-Sauve, près Privas. Le feldspath est de l'andésine. Il se rencontre aussi en fragments isolés, soit dans la roche volcanique compacte, soit dans les produits

de projection. Ce sont les cristaux de ce genre qui ont été analysés par M. Damour et étudiés optiquement par M. des Cloizeaux[1]. Nous en avons, M. Michel Lévy et moi[2], mesuré les indices de réfraction et trouvé :

$$\mathbf{n}_g = 1.556 \text{ (jaune)}$$
$$\mathbf{n}_m = 1.553$$
$$\mathbf{n}_p = 1.549$$

L'angle d'extinction est de — 2° à 3° dans *p* (001) et 10° dans g^1 (010). La roche riche en hypersthène renferme en outre de l'augite et de l'apatite.

La seule modification observée consiste dans le développement d'augite autour de l'hypersthène, comme dans les enclaves précédentes.

Prusse rhénane. — *Eifel*. — J'ai recueilli à la Pulver Maar une bombe de *leucitite à olivine et haüyne* (pauvre en leucite et très riche en haüyne) ayant pour centre une roche basique fort intéressante.

Cette enclave est rubanée et constituée par des bancs alternatifs vert foncé et blanc. Au microscope, on constate que les premiers sont formés par un pyroxène vert clair (en lames minces), un peu d'amphibole brun verdâtre, de sphène, d'apatite et de feldspath triclinique basique; dans les secondes, les éléments blancs existent presque à l'exclusion des autres minéraux, ils sont constitués par du feldspath triclinique et une *scapolite* très biréfringente.

La roche a été très disloquée par l'action de la chaleur : l'amphibole se transforme en magnétite, le pyroxène n'est fondu que localement sur les bords et a recristallisé sous forme grenue; quant au feldspath, il est à peine fondu, mais la modification la plus intéressante est celle que

1. *Bull. Soc. minér.*, VII, 307, 1885.
2. *Minéraux des Roches*, Paris, 208, 1888.

présente la scapolite. Elle est presque entièrement transformée en grandes plages d'un minéral peu réfringent, à peine biréfringent (minéral que je n'ai pu déterminer avec certitude), englobant un nombre considérable de grains vermiculés d'un minéral monoréfringent incolore qui semble être du grenat. Quand une plage de scapolite se trouve au contact d'un cristal de feldspath, on voit de grandes inclusions gazeuses et vitreuses se développer parallèlement aux clivages des deux minéraux et souvent le grenat naître au contact : il semble donc que les minéraux ainsi formés soient le résultat de la recristallisation du verre, produit par la fusion des deux minéraux, la scapolite servant de fondant. Cette fusion s'est faite à une température peu élevée, puisque la majeure partie du pyroxène de la roche est intacte.

Cette enclave est probablement constituée par un gneiss à pyroxène et scapolite analogue à ceux dont j'ai publié une monographie[1].

Région du lac de Laach. — Les *andésites augitiques* de Niedermendig contiennent parfois des enclaves basiques au milieu des enclaves acides qui ont été décrites pages 28, 52 et 112.

J'en ai étudié plusieurs. L'une possède la composition d'une diabase labradorique. Le pyroxène vert clair forme de grands cristaux en voie de destruction. Ils fondent d'abord d'une façon irrégulière sur les bords, puis le long de leurs clivages : le cristal est alors parcouru de canaux curvilignes et souvent réduit à un squelette déchiqueté. Les produits de recristallisation consistent en magnétite et en petits microlites d'olivine, semblables à ceux que j'ai décrits dans une enclave de Pardines. La roche renferme un peu de sphène jaune d'or à peine polychroïque.

1. *Bull. soc. min.*, X, 1889.

Une autre enclave est formée d'oligoclase, d'orthose, de quartz, d'hypersthène et de sphène. L'hypersthène est en partie fondu et entouré par de longues aiguilles d'augite récente, maclées avec lui suivant la loi habituelle; les feldspaths ont été aussi fondus et recristallisent sous forme dentelée (Pl. III, fig. 7).

Quant à la dernière, elle possède une composition analogue : elle est riche en hypersthène; l'apatite et le zircon y sont abondants. De grands squelettes de spinellides indiquent la place de biotite détruite. Les feldspaths sont criblés d'inclusions gazeuses et vitreuses : localement, ils ont presque entièrement fondu et ont recristallisé sous des formes variées. L'hypersthène est entourée non seulement par de l'augite récente, mais encore par de l'œgyrine vert foncé; deux ou trois cristaux d'hypersthène se transforment en outre en une substance cristallitique, possédant la biréfringence, la réfringence et la dispersion de la *zoïsite*.

Rive droite du Rhin et divers gisements allemands. — M. Sandberger a signalé[1] dans la *téphrite à olivine* de Neurod des enclaves de roches basiques, sans dire toutefois si elles ont subi des modifications. Il est intéressant de les signaler ici. Ces roches sont les suivantes : diorite micacée, gabbro à olivine. Une roche semblable, inconnue en place, a été trouvée dans un *basalte* (?) de la vallée de Kellerbach (Rhön) : elle est grenue, formée de feldspath triclinique, d'olivine (serpentinisée), de chromite, et de grenat rouge. Von Dechen a signalé une roche semblable avec augite et hornblende dans le *basalte* du Pétersberg (Siebengebirge).

Enfin M. Sandberger a trouvé une norite à olivine et

1. *Jahrb. d. k. k. R.*, XXXIII, 39, 1883.





pyroxène chromifère dans le *basalte* de Strieth, près Aschaffenburg.

Sardaigne. — M. Doelter a bien voulu me remettre une enclave basique, provenant du *basalte* de Scanu (Sardaigne). Elle est constituée par une norite pyroxénique à plus grands éléments que celles du Velay; les modifications y sont les mêmes, mais plus intenses. Cela tient à ce que cette enclave a été recueillie dans un basalte massif et non dans un tuf de projection. L'hypersthène et l'augite sont entourés par une zone de microlites d'augite récente, souvent ferruginisée. La périphérie des grands cristaux de labrador est criblée de grosses inclusions vitreuses, remplies après coup par des produits ferrugineux. Par places, le feldspath a complètement fondu et a recristallisé, englobant des microlites et des cristallites d'augite ainsi que de très longues baguettes d'olivine, analogues à celles de Pardines.

Ascension. — Les roches *basaltiques* et *trachytiques* de l'Ascension renferment des enclaves de roches grenues basiques, signalées par Darwin [1] et étudiées à nouveau par M. Renard [2].

Ce sont des diorites micacées (Green Mountain), des diabases amphiboliques (Green Mountain), des gabbros à olivine et des norites à anorthite (Red Hill).

De même que les granites qui les accompagnent en enclaves, toutes ces roches doivent être considérées comme ayant été arrachées au sous-sol ancien par les éruptions récentes de l'île.

Açores. — M. Fouqué m'a remis un fragment d'une diabase labradorique micacée (à structure ophitique) qu'il

1. *Geol. obs. on Volcanic. Island*, 40.
2. *The Physics and Chemistry of the Voyage of H. M. S. Challenger.* Part. VII, 66, 1889.

a recueillie dans les tufs de la Caldeira de Fayal. C'est une roche ancienne, très altérée, dans laquelle se trouve en assez grande abondance de l'épidote.

Iles du Cap-Vert. — Je dois à l'obligeance de M. Doelter un fragment d'une roche analogue provenant des tufs de *néphélinite* de l'île de Saint-Vincenzo ; elle est également riche en épidote.

B. *Roches volcaniques.*

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme. Volvic.* — J'ai observé dans *l'andésite augitique et péridotique* de Volvic une enclave d'une roche blanche, grenue, entièrement formée par de l'anorthose ; elle offre la composition de quelques-unes des sanidinites qui seront décrites plus loin. Elle a subi des modifications assez intenses : fusion du feldspath et recristallisation, accompagnée de production d'hypersthène en fines fibres et de spinelle vert associé à de la sillimanite. Le feldspath ancien est criblé d'inclusions gazeuses, liquides à bulle mobile et vitreuse. Toutes ces inclusions sont d'origine secondaire.

On verra plus loin qu'à Menet, les sanidinites sont en relation intime avec les trachytes qui les englobent. Il n'en est plus de même à Volvic où l'andésite est beaucoup plus basique que l'enclave qui contient environ 65 0/0 de silice. Il est probable que cette enclave à anorthose est en relation avec les *dômites* (*trachytes acides*) voisines.

Puy Gros. — M. Michel Lévy a bien voulu me donner une enclave recueillie dans le *basalte*, formant une protubérance à l'ouest du Puy Gros. Elle est composée par de l'orthose et de l'anorthose en grands cristaux, englobant quelques zircons, un peu de pyroxène incolore et des agré-

gats en buisson de magnétite et d'augite, formés sans doute aux dépens de biotite disparue. Sa structure est grenue.

Au contact de l'enclave et du basalte, on observe une zone très mince avec feldspaths recristallisés et moulés par une substance vitreuse incolore, riche en cristallites pyroxéniques.

Cette enclave est, selon toute vraisemblance, comme la précédente, une sanidinite en relation avec les trachytes acides voisins.

Prusse rhénane. — *Région du lac de Laach.* — Les *andésites augitiques* et les *téphrites*, des environs de Niedermendig, Mayen, etc., renferment assez souvent des enclaves de *sanidinites*, identiques à celles du lac de Laach décrites dans la seconde partie de ce mémoire; elles ont la même origine.

Ces enclaves ont été signalées depuis longtemps par von Dechen, Wolf, M. J. Lehmann, etc. Celles que j'ai recueillies (principalement dans les grandes carrières de Winfeld) présentent plusieurs des variétés de sanidinites du lac de Laach. L'une d'elles, provenant de Niedermendig, est très riche en haüyne bleue, jouant le même rôle que la noséane dans les roches du lac de Laach, c'est-à-dire moulant l'anorthose.

Les modifications subies par ces enclaves sont souvent intenses. Au contact avec l'andésite, on observe une zone dans laquelle cette dernière est plus feldspathique; les microlites d'augite sont plus rares et plus grands. Il y a sans doute au contact mélange des éléments des deux roches.

Les laves de cette région (particulièrement à Niedermendig) renferment en assez grande quantité de petits fragments d'haüyne qui, selon toute vraisemblance, ont la même origine que les enclaves qui viennent d'être décrites.

Ils sont fréquemment incolores au centre et bleus à la périphérie. Wolf et M. J. Lehmann, rappelant que l'haüyne est décolorée par la chaleur et qu'elle reprend sa couleur bleue par exposition à la vapeur de soufre, considèrent la couleur bleue périphérique des cristaux précités comme due à une action de fumerolles.

Siebengebirge. M. Bleibtreu a signalé[1] des exemples intéressants de fusion et de recristallisation de trachytes et d'andésites enclavés dans le *basalte* du Dächelsberg et du Petersberg.

V. Enclaves de calcaires.

Résumé et conclusions. — Les modifications subies par les calcaires englobés par des roches basaltoïdes sont souvent peu intenses et parfois limitées au contact immédiat de la roche volcanique.

Le plus fréquemment, les calcaires sont simplement calcinés et transformés en hydrates de chaux et de magnésie qui, plus tard, se carbonatent au contact de l'air ou parfois (région du lac de Laach) donnent naissance à divers minéraux hydratés (*chalcomorphite*, *ettringite*, *zéolites*), sous l'action des émanations ayant accompagné ou suivi l'éruption.

Dans les divers gisements étudiés, les minéraux, développés sous l'influence de la roche volcanique, sont toujours les mêmes, ce sont de la *wollastonite*, de l'*augite*, du *grenat*, plus rarement des *scapolites*, du *sphène*, etc. Tantôt le calcaire est entièrement modifié, tantôt il ne l'est que partiellement, et les minéraux nouvellement formés sont noyés dans des produits secondaires.

1. *Op. cit.*

Fréquemment, la roche volcanique est endomorphisée au contact des enclaves et présente une structure beaucoup plus cristalline.

Ces enclaves ainsi métamorphisées sont le plus généralement à grains très fins, leur nature ne peut être décelée qu'au microscope.

Toutefois, dans quelques gisements (Capo di Bove), les produits de recristallisation sont de très grande taille.

Il y a lieu de faire remarquer l'analogie de ces phénomènes de métamorphisme avec ceux que l'on observe au contact des calcaires et des roches éruptives anciennes.

Dans le chapitre consacré aux enclaves calcaires des roches trachytoïdes, je développerai les raisons pour lesquelles j'ai étudié avec ces dernières les blocs calcaires plus ou moins modifiés que l'on trouve en très grande abondance dans les tufs leucitiques de la Somma, de la Campagne de Rome et d'autres régions italiennes. Du reste, les transformations que l'on y observe, pour être beaucoup plus intenses que celles qui sont décrites ici, n'en sont pas moins du même ordre.

Plateau Central de la France. — Les enclaves de calcaire englobées par les *basaltes* sont rares dans les régions volcaniques de la France ; les fragments trouvés dans les *tufs basaltiques* ne présentent, à ma connaissance, aucune modification minéralogique.

Ardèche. Les meilleurs échantillons que j'ai eu l'occasion d'étudier proviennent de l'Ardèche. Faujas de Saint-Fond signale longuement[1] des enclaves de calcaire dans les basaltes des environs d'Aubenas, de Chamarelle près Villeneuve de Berg et de Rochemaure. Les documents que

1. *Recherches sur les volcans éteints du Vivarais et du Velay*, Paris, 1778, et *Minéralogie des volcans*, Paris, 1784.

j'ai eus à ma disposition proviennent soit de ces deux gisements (collection du Collège de France), soit des environs d'Aubenas. Ceux de ce dernier gisement m'ont été envoyés par le Frère Euthyme qui a bien voulu les faire recueillir à ma demande. Aux environs d'Aubenas, le basalte porphyroïde forme des filons dans des calcaires secondaires. Les enclaves y sont extrêmement abondantes,

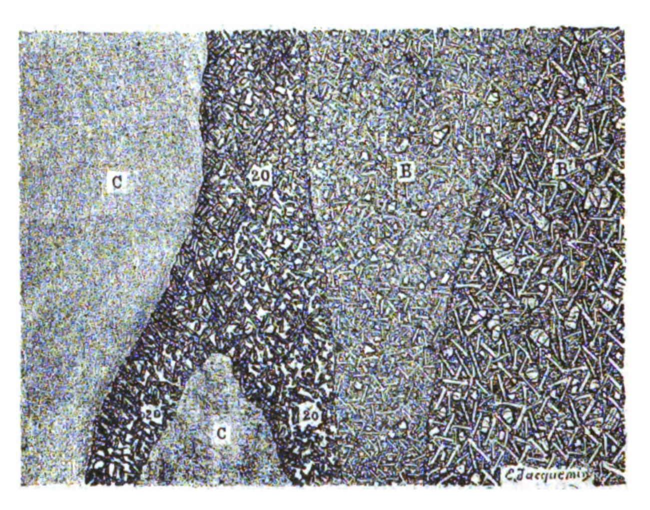


Fig. 8. — Contact du basalte et d'une enclave de calcaire (Aubenas). — B' basalte normal, B zone basaltique à éléments plus fins. Au contact immédiat du calcaire (C) le basalte est exclusivement composé par de gros microlites d'augite (20).

mais très souvent zéolitisées, ce qui en rend l'étude assez difficile. Grâce au grand nombre d'échantillons examinés, j'ai pu cependant en trouver des fragments faciles à interpréter.

Tantôt ces enclaves sont microscopiques, tantôt elles atteignent plusieurs centimètres de diamètre.

Le calcaire a généralement complètement disparu ; il est transformé en une roche compacte, jaune verdâtre, constituée par de la *wollastonite*, du *pyroxène* et souvent

de l'*anorthite*; cette roche modifiée rappelle les *cornes* résultant de la transformation des calcaires par les roches éruptives anciennes.

Un de mes échantillons est surtout remarquable par les phénomènes endomorphes subis par le basalte.

La fig. 8 représente en grandeur naturelle une plaque mince taillée au contact de la roche volcanique et de son enclave. En B', le basalte porphyroïde est intact; il est riche en grands cristaux d'olivine et d'augite, en microlites d'augite et de labrador. La roche est très chargée de magnétite. En B, s'observe une zone refroidie plus vite, dans laquelle les microlites sont plus petits; la fluidalité est nette : les microlites se sont orientés parallèlement aux parois de l'enclave. Au contact de cette dernière, la zone 20 est constituée par de très longues baguettes d'augite d'un brun violacé, englobées dans de la calcite et dans un peu de verre incolore. Leur extrémité libre regarde l'enclave. Quant au calcaire (C), il est transformé en un mélange très finement grenu de pyroxène et de wollastonite avec quelques particules isotropes et opaques. Çà et là, on voit des bandes dans lesquelles la matière isotrope est plus abondante, trouble, à peine translucide et englobant des grains d'anorthite. Par places, les minéraux récents sont microcristallins, tandis que dans d'autres points de l'enclave ils forment de petits nids à plus grands éléments.

Un autre échantillon, représenté également en grandeur naturelle par la fig. 9, montre des phénomènes analogues. La préparation est traversée par une veine basaltique, injectée dans le calcaire et en englobant un fragment. La matière basaltique injectée est exclusivement constituée par des éléments ferrugineux, de l'olivine, des grands cristaux et des microlites brun foncé d'augite. Sur

les bords, et au contact de l'enclave, les microlites d'augite forment une zone continue dont les pointements cristallins sont, comme dans le cas précédent, dirigés vers l'extérieur. Ils sont alors mélangés de longs cristaux de wollastonite, allongés suivant *ph*[1] (001) (100). Si l'on va plus loin dans l'enclave, on observe la même structure que

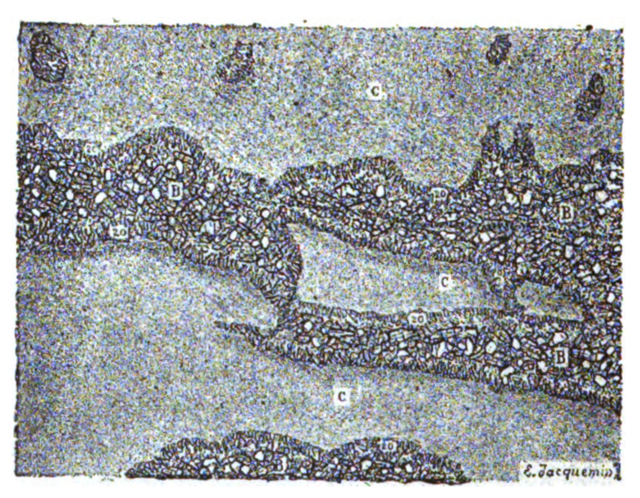


Fig. 9. — Veinule basaltique (B) injectée dans une enclave calcaire (C) d'Aubenas (+ 20 augite).

dans l'échantillon décrit en premier lieu. Çà et là, noyés dans les minéraux récents, se trouvent de petits agrégats d'augite brune, de wollastonite et de verre : ce sont de minces filonnets basaltiques, coupés transversalement par la préparation. La transformation du calcaire a été précédée ici d'une véritable fusion, car la matière vitreuse y est assez abondante.

Quant au basalte, à son contact avec l'enclave, il est très vitreux. Ce fait s'observe fréquemment dans ce gisement quand la roche volcanique est riche en fragments calcaires plus ou moins résorbés.

Il me reste à décrire des enclaves présentant des modifications un peu différentes de celles qui viennent d'être passées en revue. L'une d'elles est modifiée d'une façon identique dans toute son étendue. Elle est criblée de dodécaèdres b^1 (110) de grenat ayant environ 0^{mm} 10 de diamètre; absolument incolores en lames minces, ces cris-

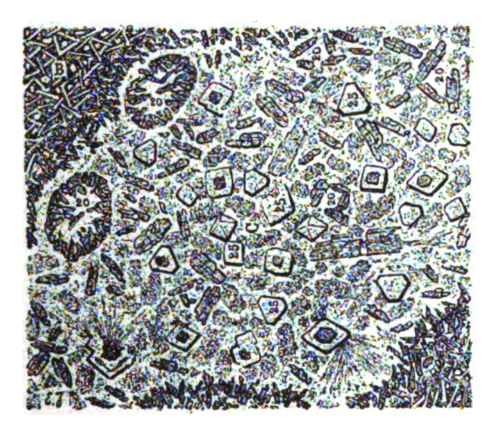


Fig. 10. — Enclave calcaire modifiée dans basalte d'Aubenas (lumière naturelle), 20 augite, 25 grenat. Le fond de l'enclave est formé par de la wollastonite et des zéolites incolores.

taux ont tous un centre brun foncé, sans doute constitué par du mélanite, ils sont associés à de l'augite (fig. 10), et sont accompagnés par de longues aiguilles de wollastonite. Ces éléments cristallisés sont noyés dans des zéolites sphérolitiques qui semblent appartenir à la mésotype et à la thomsonite. Ces calcaires modifiés présentent une remarquable analogie avec les enclaves de calcaire modifié par les phonolites du Kaiserstuhl qui seront décrites plus loin.

Dans d'autres échantillons, j'ai observé des phénomènes métamorphiques du même genre : le grenat est moins abondant, la wollastonite s'y rencontre au contraire en plus grande abondance, toujours en cristaux allongés et

parfois accompagnés de pyroxène; par places, ces trois minéraux sont si abondants qu'ils forment en quelque sorte la trame de la roche, leurs intervalles étant remplis par les zéolites. Il y a ainsi tous les passages aux cornes métamorphiques que nous avons décrites plus haut; dans quelques cas, au contraire, les silicates métamorphiques sont très clairsemés au milieu des zéolites; leurs formes sont alors plus nettes. D'ordinaire, le contact avec le basalte est constitué par une sorte de croûte cristalline d'augite, ce minéral devenant d'autant plus rare que l'on s'éloigne davantage du basalte pour aller dans l'intérieur de l'enclave.

Un peu différents sont les phénomènes observés dans les échantillons de Chamarelle. Il n'y a pas de modification endomorphe dans le basalte, la limite de celui-ci et de la roche volcanique est occupée par une zone très riche en anorthite grenue, englobant du pyroxène vert clair et de la wollastonite; plus loin, l'enclave est modifiée comme précédemment, les minéraux métamorphiques sont ultramicroscopiques, mais prennent des dimensions plus grandes (0^{mm} 10) dans de nombreuses boutonnières à formes irrégulières, très abondamment distribuées dans le fragment étudié. De petites enclaves d'environ 1^{mm} de diamètre ont été aussi trouvées dans le basalte de la même localité. Elles sont constituées par du pyroxène vert, à formes nettes, et par un peu de *sphène*; ces deux minéraux sont englobés par de l'anorthite grenue (fig. 11).

Enfin, un échantillon de calcaire emballé dans le basalte de Rochemaure ne m'a présenté aucun minéral nouveau, mais une prodigieuse quantité d'inclusions gazeuses qui semblent indiquer que ce calcaire a été chauffé et peut-être fondu sous pression, dans des conditions rappelant celles

qui ont été réalisées dans des expériences célèbres de J. Hall, récemment reproduites.

Puy-de-Dôme. Le seul échantillon de calcaire modifié provenant d'Auvergne que j'ai eu l'occasion d'étudier m'a été donné par M. P. Gautier qui l'a recueilli dans la coulée de Gravenoire, près Clermont. Au contact, le basalte

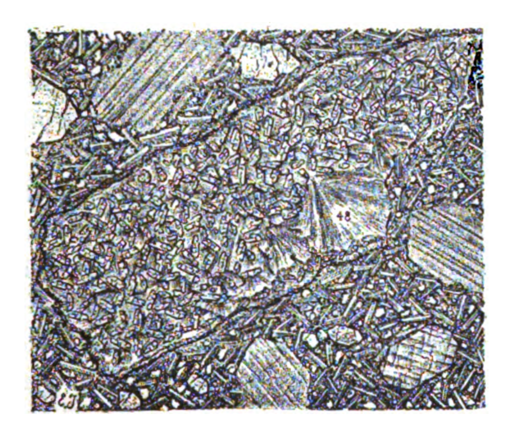


FIG. 11. — Enclave de calcaire entièrement transformée dans le basalte de Chamarelle (nicols à 45°). Dans l'enclave, on voit de nombreux microlites d'augite : ils sont disséminés dans de l'anorthite et de la thomsonite sphérolitique (48).

n'a subi aucune transformation endomorphe. A partir de la roche éruptive, on observe une petite zone de matière jaune brunâtre trouble, sans action sur la lumière polarisée et englobant des cristaux d'un minéral disparu qui, d'après ce que j'ai observé dans les enclaves des Coirons décrites plus haut, a dû être constitué par de l'anorthite. Le calcaire lui-même est presque entièrement transformé en un mélange, finement grenu, de wollastonite et d'un grenat jaune vif sans formes géométriques ; il est postérieur à la wollastonite. Celle-ci est peu allongée suivant ph^1 (001) (100). Il existe une petite quantité de pyroxène, coloré en brun par des produits ferrugineux. La calcite se

trouve encore sous la forme de petits grains, inclus dans tous les minéraux métamorphiques.

Vosges. — La *néphélinite* d'Essey-la-Côte renferme des enclaves de calcaire à gryphées. On les retrouve dans les conglomérats et brèches accompagnant cette roche éruptive. D'après M. Vélain[1], ces calcaires sont devenus très cristallins et sont riches en wollastonite, pyroxène, magnétite. Les gryphées sont parfois géodiques et tapissées de cristaux de calcite et de magnétite implantés sur elles. M. Lebrun a signalé dans les mêmes conditions un abondant développement de magnétite.

Les échantillons modifiés sont rares et je n'en ai trouvé qu'un seul dans la collection qu'a bien voulu me communiquer M. Bleicher. Il est constitué par un mélange grenu de wollastonite et d'anorthite, souillé par de nombreux produits noirs (charbonneux ?). Ces minéraux sont trop petits pour qu'il soit possible, dans la plupart des cas, de déterminer avec précision leurs propriétés optiques, mais çà et là se rencontrent, comme dans les enclaves de l'Ardèche, des boutonnières plus cristallines où les minéraux se présentent avec des dimensions suffisantes pour l'examen de leurs propriétés optiques. Dans plusieurs préparations, j'ai observé une *scapolite* moulant l'anorthite et la wollastonite. Il existe dans plusieurs plaques des formes, rappelant des sections de polypiers, dont les cloisons sont jalonnées par des produits opaques et par de l'anorthite.

Il est à désirer que des recherches ultérieures permettent d'obtenir de nombreux échantillons de ces enclaves calcaires qui sont particulièrement intéressantes.

Prusse Rhénane. — M. J. Lehmann a signalé en

1. *Bull. Soc. géol.*, 3e série, XIII, 565, 1885.

divers points de l'Eifel (Hohn près Gerolstein) et dans la région de Laach (Ettringen, Mayen, Niedermendig) l'existence de calcaires ou de dolomies dévoniennes, englobés par les roches basiques ou se trouvant dans leurs tufs[1]. Ces roches sont généralement calcinées, ont perdu leur acide carbonique et sont transformées en hydrates.

Vom Rath a décrit sous le nom de *chalcomorphite* un silicate hydraté de chaux et d'alumine, M. Lehmann sous celui d'*ettringite* un sulfate hydraté de chaux et d'alumine, formés tous deux dans les cavités d'enclaves calcaires d'Ettringen. Ces deux minéraux cristallisent sous la forme de prismes hexagonaux, réguliers; ils sont uniaxes et de signe négatif.

Ce sont évidemment des produits secondaires, formés par l'attaque des calcaires calcinés par des vapeurs ou des eaux minéralisées, vraisemblablement contemporaines de l'éruption.

J'ai recueilli deux enclaves de calcaire à Niedermendig et à Ettringen. Elles sont volumineuses, blanches, compactes et fragiles. Les minéraux formés au contact rappellent beaucoup ceux des enclaves de Gravenoire, ce sont des *grenats* et de la *wollastonite*. Ils sont disséminés dans une masse sans action sur la lumière polarisée, mais qui, en lumière naturelle, montre une structure microcristalline très nette. Je n'ai pu en déterminer la nature.

Au contact immédiat, la téphrite devient très cristalline, les éléments blancs consistent en un feldspath rarement maclé, englobant des cristaux de néphéline à contours nets, de l'augite et de grandes plages d'un minéral offrant toutes les propriétés optiques de celui qui sera décrit dans les enclaves calcaires du Kaiserstuhl en pseudomorphose de wollastonite.

1. *Verhandl. naturhist. Ver. Rheinl. u. Westf.* 1874

Westphalie. — Möhl a signalé[1] des enclaves de calcaires du muschelkalk dans le *basalte* de Weissholz près Lutzgeneder. D'après cet auteur, il se serait produit dans ces conditions de la chondrodite et de la wollastonite. Le minéral décrit comme chondrodite est indiqué comme possédant une faible biréfringence; aussi y a-t-il lieu de faire quelques réserves sur cette détermination.

Hesse. — M. Max Bauer a rencontré[2] des enclaves calcaire dans le *basalte* de Stempel, près Marburg, dont il a été question plus haut. Le calcaire ne semble pas modifié, mais au contact le basalte est devenu très grenu.

Latium. — Les *leucitites* de Capo di Bove, près Rome, renferment des enclaves de calcaire entièrement transformées en wollastonite laminaire. Ces échantillons sont connus de tout le monde : on sait que ces cristaux de wollastonite sont souvent moulés par la *spadaïte* de Kobell. La collection du Museum d'histoire naturelle renferme une enclave de ce genre formée de lits de wollastonite lamellaire blanche et de lits foncés. Ces derniers sont constitués par du pyroxène granulaire, du *sphène* et de la wollastonite, moulés par de grandes plages de *méionite*.

J'ai étudié dans le chapitre suivant les très nombreux calcaires transformés qu'on trouve dans les tufs leucitiques (*peperino*) du Latium : leur composition est si remarquablement semblable à celle des blocs calcaires de la Somma que leurs descriptions gagnent à ne pas être séparées.

Vésuve. — Les laves modernes du Vésuve contiennent parfois des blocs de calcaires sédimentaires. Ils sont généralement calcinés, fendillés à leur surface et rarement silica-

1. *Neues Jahrb.*, 1874, 799.
2. *Neues Jahrb.*, 1891, II, 231.

tés. J'ai cependant eu l'occasion d'étudier une petite enclave, recueillie dans la lave de 1872. Elle est presque entièrement transformée en wollastonite, mélangée de quelques grenats, jaune foncé, assez fortement biréfringents. Cette enclave a bien été modifiée par la roche qui l'englobe et elle ne doit pas être considérée comme un fragment de calcaire métamorphique, arraché à la Somma (voir pour la description des enclaves de ce gisement le paragraphe IV du Chapitre II). En effet, au contact avec la roche volcanique, on voit la wollastonite, souvent chondritique, s'appuyer sur la *leucotéphrite* et même prendre, par places, des formes nettes dans le verre opaque de cette dernière, qui devient alors extrêmement riche en augite microlitique.

M. A. Scacchi a signalé[1] la formation de chaux (Ca O) aux dépens de blocs calcaires de l'éruption de 1631 et d'autres plus récentes.

Etna. — M. Silvestri a envoyé, en 1887, à M. Fouqué deux petits fragments d'une roche très cristalline, enclavée dans une *labradorite* ancienne de l'Etna. Ces échantillons résultent certainement de la transformation d'un calcaire. Ils sont remarquablement analogues aux calcaires modifiés de Santorin qui seront étudiés dans le chapitre II.

A l'œil nu, on y distingue du pyroxène granulaire et de la wollastonite blanche. Au microscope, on voit que ce pyroxène teinté en vert pâle est légèrement pléochroïque. La wollastonite offre ses propriétés habituelles, la macle suivant h^1 (100) n'est pas rare. Ces deux minéraux sont accompagnés d'une substance jaune vif offrant une réfringence assez élevée et une biréfringence faible, rappelant celle de quelques grenats pseudocubiques. Aucune image

1. *Neues Jahr.*, 1888, II, 134.

n'est visible en lumière convergente. En l'absence de formes extérieures, il est difficile de se prononcer sur la nature de ce minéral, que je n'ai pu isoler pour le soumettre à des essais chimiques.

Dans l'un des échantillons étudiés, le pyroxène granulaire domine, la wollastonite remplissant çà et là les vides de la roche ou formant de petites veinules. Dans le second échantillon, au contraire, c'est la wollastonite qui prédomine en grandes plages allongées, affectant parfois une structure étoilée. Elle englobe une grande quantité de fins granules de pyroxène. Le minéral jaune, toujours en petite quantité, moule les deux autres substances; il est localement accompagné d'un peu de magnétite. Le contact avec la labradorite est en général formé par une zone de pyroxène grenu. L'analogie de ces enclaves avec les calcaires modifiés par les roches granitoïdes anciennes est frappante.

La collection minéralogique du Museum d'histoire naturelle renferme un échantillon indiqué comme provenant de l'Etna et constitué par un nodule de wollastonite lamellaire et de pyroxène grenu vert foncé. C'est également, à l'évidence, un calcaire transformé.

Antilles. — La collection des roches des Antilles, recueillie autrefois par M. Ch. Sainte-Claire Deville et conservée au Collège de France, contient deux échantillons, indiqués comme ayant été détachés d'un bloc d'environ 1 mètre cube, trouvé par ce savant dans les tufs de *labradorites* de l'île de Saba (grande falaise verticale de Giles-Quartier, Est de l'île). D'après les notes de M. Deville, ce bloc est constitué par une roche étrangère au sol de l'île. Il est imprégné de divers minéraux cuprifères et ferrugineux (magnétite, hématite, chessylite), que l'on doit évidemment considérer comme des produits de fumerolles.

L'examen microscopique m'a fait voir que ces échantillons sont constitués par des calcaires métamorphiques. L'un d'eux, très riche en calcite, renferme des grains clairsemés d'augite et de grenat ; ces deux minéraux y sont de formation contemporaine, ils possèdent la même couleur jaune d'or. L'autre est beaucoup plus silicaté, le pyroxène en gros grains vert jaunâtre, devenant par places jaune d'or, comme dans l'échantillon précédent, forme dans la roche des nids irréguliers ; il est soit seul, soit accompagné d'anorthite et de grenat jaune brun très pâle en lames minces. Dans certaines parties, l'anorthite devient assez abondante et la roche ressemble à quelques-unes des enclaves d'Aubenas, étudiées plus haut. L'anorthite peut même localement dominer ; elle renferme alors, en grande abondance, une multitude de petits grains de grenat. Quant au calcaire, il a, par places, complètement disparu, tandis que dans d'autres points, il sert en quelque sorte de ciment aux nids silicatés qui viennent d'être décrits.

Ces deux roches sont très riches en produits ferrugineux brunâtres qui représentent peut-être les restes de matière volcanique introduite dans le calcaire. Ils sont d'ailleurs trop altérés pour qu'il soit possible de préciser davantage. Beaucoup des éléments de la roche renferment de petites inclusions microscopiques qui sont en général des inclusions vitreuses.

L'origine de ces calcaires, que je n'ai pas vus en place, ne me paraît pas douteuse ; je les considère comme des calcaires sédimentaires, modifiés par la roche volcanique au milieu de laquelle ils ont été recueillis.

APPENDICE

Enclaves dans les roches basaltoïdes anciennes.

Dans ce chapitre, je n'ai considéré que des roches basaltoïdes tertiaires, quaternaires ou récentes. Les roches similaires, antetertiaires renferment naturellement des enclaves analogues, mais leur étude présente souvent de graves difficultés d'interprétation, en raison des nombreux produits d'altération qui y ont pris naissance.

Nous avons vu en effet que, dans toutes ces enclaves, les phénomènes de fusion sont souvent très intenses, la matière vitreuse ainsi formée est très altérable. Si l'on tient compte de ce fait que les enclaves de roches volcaniques pléistocènes sont parfois à ce point zéolitisées que leur étude est impossible, on conçoit aisément ce que peuvent être les produits secondaires développés dans des enclaves similaires de roches basiques carbonifères ou même plus anciennes.

D'après ce qui a été publié sur les enclaves des roches anciennes et d'après ce que j'ai moi-même observé, on peut affirmer que les modifications qu'elles ont subies sont du même ordre que celles que nous avons étudiées jusqu'à présent : fusion plus ou moins complète des éléments suivant leur ordre de fusibilité, développement autour du quartz de couronnes d'augite (parfois ouralitisée), recristallisation des feldspaths suivant divers modes réguliers et fréquemment orientation des feldspaths récents sur les fragments anciens, transformation de la biotite en spinellides et augite, etc. Mais en outre, on trouve quelquefois du quartz récent, souvent considéré comme contemporain de la transforma-

tion de l'enclave; il s'oriente parfois sur le quartz ancien, ou se glisse dans les fissures de clivage ou de fusion des feldspaths et forme alors avec eux des sortes de micro-pegmatites.

Dans tous les échantillons que j'ai personnellement étudiés, le quartz m'a paru d'origine secondaire, formé aux dépens du verre et postérieur aux modifications métamorphiques de l'enclave. N'ayant pas les éléments nécessaires pour discuter la question dans chaque cas particulier où ces phénomènes ont été signalés, je me contenterai de citer quelques mémoires à l'étude desquels le lecteur pourra se faire une opinion personnelle. Je me contenterai à cet égard de rappeler que, dans les roches tertiaires et modernes, la recristallisation du quartz, au moment des modifications de l'enclave, est un fait excessivement rare (p. 30 et 105).

Les *trachytes* et *andésites micacés* (*orthophyres* et *porphyrites micacés*), les *syénites*, les *minettes* et les *kersantites* filoniennes d'un grand nombre de régions renferment des fragments de quartz et de feldspath d'origine volcanique, qui sont sur une certaine surface, assez uniformément répartis pour avoir été parfois considérés comme de grands cristaux indigènes dans la roche éruptive. C'est ce qui a lieu notamment pour les *kersantites* du Tannenbergsthal (Saxe), dont la véritable nature a été fixée par von Rath[1] et qui ont été étudiées plus récemment par MM. Sauer et Schröder[2], ainsi que pour la roche du même groupe, décrite autrefois par Gümbel[3] sous le nom d'*Aschaffite*.

On peut citer aussi — les *kersantites* de l'Unterharz étudiées par M. Koch[4], celles de Bärenstein, pres Lehensten (Thuringe) décrites par MM. Liebe et Zim-

1. *Zeitsch. d. d. geol. Gesell.*, XVII, 399, 1865.
2. In Rosenbusch, *Mikr. Physiogr. massiv. Gest.*, 330, 1887.
3. *Id.*, 331.
4. *Jahrb. k. pr. geol. Landesanst.*, 1886.

mermann[1], puis par M. Pöhlmann[2]. Dans ce gisement, la kersantite englobe du quartz, des quartzites grenatifères, des roches granitiques, des gneiss à cordiérite et andalousite — les *andésites micacées* (*glimmerporphyrit*) du Tyrol (Liner-Haidhof, Val Gallinera, Vedretto di Lago d'Arno, etc.), étudiées par M. von Foullon[3]; — enfin les *syénites* (*vogésites*) de Mittershausen décrites par M. Chelius[4] et les *kersantites* de Gailbach (Spessart) étudiées à ce même point de vue par MM. Chelius[5] et Goller[6], etc.

Les roches similaires du Plateau Central de la France et du Morvan présentent les mêmes particularités ; je citerai notamment la *kersantite* de Pégotard qui forme un filon dans la granulite, sur la route de Saint-Germain-Lherm à Issoire (Puy-de-Dôme). Les enclaves de quartz y sont entourées d'une très belle couronne d'augite et les fragments d'orthose présentent souvent de grandes variations dans l'angle des axes optiques, qui est presque nul sur les bords du cristal. Il faut voir là sans doute l'action de la chaleur.

Dans les abrupts qui dominent le sentier conduisant du col d'Oncet au lac Bleu (massif du pic du Midi de Bigorre, dans les Hautes-Pyrénées), j'ai trouvé des filons de *labradorite augitique* (*porphyrite augitique*) englobant des fragments de granulite. Ces enclaves sont généralement fondues à leur périphérie. Le feldspath recristallise soit sous forme de microlites confus, soit sous celle d'aiguilles orientées sur les fragments anciens.

1. *Abh. zur geol. Specialk. Preussen*, V, 479, 1884.
2. *Neues Jahrb.*, 1888, II, 87.
3. *Jahrb. geol. Reichs.*, XXXVI, 747, 1886.
4. *Notizbl. d. Vereins f. Erdk. Darmstadt.*, 1888. 1, 9, 36.
5. *Neues Jarhb.*, 1888, II, 73.
6. *Id.*, Beil. Bd, 521, 1889,

Enfin, en terminant, je citerai l'important travail publié par M. Bäckström [1] sur les enclaves quartzeuses et feldspathiques des *diabases* scandinaves [Alsarp (Suède), Staback, Salen, Lysaker, Ostö (Norwège)]. Les faits les plus intéressants, cités par ce savant, consistent dans la fusion des feldspaths suivant les divers modes que nous avons étudiés plus haut; ces minéraux prennent alors souvent une apparence chagrinée ou grenue (*Körnelung*) en se débitant en petits parallélipipèdes dont les intervalles sont remplis par du quartz que l'auteur considère comme contemporain de la modification de l'enclave. Les feldspaths recristallisent et s'orientent sur les fragments anciens dont ils diffèrent souvent par la composition chimique.

1. *K. Svenska Vet. Akad. Handlingar*, XVI, II, n° 1, 1890. MM. Cohen et Deecke ont étudié des enclaves du même genre dans les diabases de l'île de Bornholm (*Jahresber. geogr. Gesellsch. zu Greifswald*, IV, 1890).

CHAPITRE II

MODIFICATIONS SUBIES PAR LES ENCLAVES DES ROCHES TRACHYTOÏDES

Je suivrai ici le même ordre d'exposition que dans le chapitre précédent. Cependant, en raison du petit nombre d'enclaves de quartz et de schistes argileux que j'ai eu l'occasion d'étudier dans les roches trachytoïdes, je traiterai ces deux catégories d'enclaves dans un même paragraphe.

I. — Enclaves de roches exclusivement quartzeuses et enclaves de schistes argileux.

Lorsqu'un fragment de quartz est englobé par un trachyte ou une andésite acide, il se brise, s'étonne, ses inclusions liquides se vident. Parfois il s'y développe des inclusions vitreuses. S'il est de petite taille, il est résorbé et parfois (Boué, Borjom), autour de ses restes, s'observe la couronne de verre et d'augite caractéristique des enclaves quartzeuses dans les basaltes. Ces couronnes se rencontrent même dans des roches, normalement pauvres en microlites d'augite.

Au lac de Laach, des enclaves de grès ou de schistes argileux n'ont subi que de faibles modifications par leur englobement dans le trachyte à haüyne. Elles ont localement fondu sur les bords et, dans le verre, se sont développés des microlites de pyroxène. Quelques enclaves de grès et de quartzite à cordiérite du M[te] Amiata présentent, mais d'une façon plus intense, le genre de modification. Dans

les andésites de Santorin (Pl. V, fig. 2) et du Caucase, le bisilicate formé autour du quartz ancien est non pas du pyroxène, mais de la wollastonite.

Dans les leucitophyres d'Olbrück, un schiste argileux a été imbibé par la roche volcanique qui y a développé quelques-uns de ses éléments, orthose et œgyrine.

Quand l'enclave est de plus grande taille, le minéral qui s'y produit le plus généralement est la tridymite. Elle tapisse les fissures du quartz (Mont-Dore) ou bien remplit localement le verre résultant de sa fusion. Enfin, plus rarement, le quartz se transforme presque entièrement en cristaux de tridymite, suffisamment gros pour qu'il soit facile d'étudier toutes leurs propriétés optiques. Ils sont fortement agglomérés par un peu de verre (fig. 12).

Le mécanisme de cette transformation est éclairé par un fait expérimental. La véritable roche de tridymite ainsi formée est, en effet, identique à celle qui prend naissance par transformation de briques quartzeuses, soumises pendant très longtemps à la haute température des fours métallurgiques ou des fours des verriers.

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme.* J'ai recueilli plusieurs enclaves de quartz dans les *trachytes* du Capucin, au Mont-Dore. Elles proviennent sans doute de pegmatites. Elles sont limpides, étonnées, riches en inclusions gazeuses. Il est fort difficile d'en extraire un fragment de quartz un peu gros.

La tridymite se développe souvent dans les fissures de ce quartz en très belles lames transparentes.

A côté de ces enclaves de quartz et de celles de gneiss à cordiérite qui seront étudiées page 179, on trouve au Capucin de nombreuses enclaves d'une andésite augitique très cristalline. Dans l'une d'elles, j'ai rencontré une enclave de quartz entourée de la couronne de verre et

d'augite habituelle à ce genre d'enclaves dans les roches basiques. Il m'a paru intéressant de signaler ce cas d'*enclave dans enclave*, d'autant plus que ce type d'andésite augitique, passant à la diabase, est inconnu dans la région.

Les enclaves de quartz que j'ai observées dans le trachyte à biotite (*dômite*) du Puy-de-Dôme, du puy de Sarcouy, présentent des modifications du même ordre que celles qui viennent d'être signalées.

Cantal. Les fragments de quartz enclavés dans les *andésites à hornblende* de la carrière de Boué, au Lioran, et dans les *trachytes à anorthose* de Menet se comportent comme ceux du Mont-Dore. Dans un échantillon d'andésite de Boué, j'ai observé autour d'un fragment de quartz des auréoles d'augite et de verre.

Prusse rhénane. — *Région du lac de Laach*. Les bombes de *trachytes à haüyne* du lac de Laach contiennent très fréquemment de petites enclaves de grès, de grauwackes ou de schistes dévoniens normaux ou modifiés par le granite (schistes tachetés, noduleux, schistes à andalousite et cordiérite). Les auteurs qui ont étudié cette région ont beaucoup insisté sur la composition minéralogique de ces roches[1], qui a peu d'intérêt au point de vue où je me place ici. Ces roches en effet sont peu modifiées. Dans les échantillons que j'ai étudiés, j'ai observé quelques exemples de fusion : dans le verre qui prend ainsi naissance, se développent de nombreux microlites de pyroxène vert clair ; l'enclave se dissocie peu à peu dans le trachyte.

Ces diverses roches anciennes absolument intactes sont abondantes dans les tufs du lac de Laach : les fragments

1. Voir notamment : Dechen, *op. cit.*, Wolf, *Zeitsch. d. d. geol. Gesell.*, 1867, Laspeyres, *op. cit.*, ainsi que Dittmar, *Verhandl. d. naturhist. Ver. Rheinl. u. Westf.*, XLIV, 477, 1887.

enclavés dans les bombes de trachyte sont généralement de petite taille.

Le *leucitophyre* d'Olbrück renferme de petites enclaves de grauwacke dévonienne à grains très fins; elles ne présentent au contact de la roche volcanique que des pénétrations irrégulières de cette dernière entre leurs lits, avec formation d'un peu d'orthose et de pyroxène.

Eifel et Siebengebirge. Les *trachytes* et *andésites* du Bocksberg, du Rengersfeld (Eifel) et du Siebengebirge, qui seront étudiés plus loin, englobent d'assez nombreux fragments de quartz. Ils sont modifiés comme ceux du Capucin et donnent généralement naissance à de beaux cristaux de tridymite. Vom Rath a signalé en outre au Perlenhardt[1] la formation de quartz récent que je n'ai point personnellement observé. Sa production s'est peut-être effectuée dans des conditions analogues à celle des enclaves des roches basiques de la région du lac de Laach.

M. Pohlig a signalé[2] dans les tufs du Siebengebirge une très grande variété de schistes à andalousite avec ou sans corindon et montré leur identité avec les schistes anciens granitisés. Ces roches plus abondantes dans les tufs que dans les roches massives sont accompagnées des enclaves quartzofeldspathiques qui seront étudiées dans le paragraphe suivant et qui sont profondément modifiées.

Santorin. — Des fragments de quartz et des débris de schistes se rencontrent en grande quantité parmi les plus récents produits de projection de la dernière éruption de Santorin. En 1875, M. Fouqué en a recueilli un grand nombre à la surface du cône de Georgios. Quelques-uns étaient isolés, mais la plupart étaient engagés dans la lave

1. *Zeitsch. d. d. geol. Gesell.* XXVII, 330, 1875.
2. *Verhandl. d. naturhist. Ver. Rheinl. u. Westf.*, XLV, 89, 1889.

scoriacée. Le quartz, en fragments laiteux, anguleux ou arrondis, frappait la vue à cause de la couleur sombre des matières volcaniques : le micaschiste est identique à celui de la partie ancienne de Santorin (île de Théra), où les lits quartzeux abondent également. Cette partie de Théra renferme aussi un massif de marbre identique au calcaire que l'on rencontre également dans les projections de Georgios et dont nous étudierons plus loin les modifications.

Un des fragments, englobés dans les *andésites à hypersthène* de l'éruption de 1866 m'a été donné par M. Fouqué; il est extrêmement riche en inclusions gazeuses et, par places, en inclusions vitreuses à bulle. De nombreuses fissures le parcourent; elles sont remplies par des cristaux et de grandes plages de tridymite, affectant des dimensions et une forme peu communes.

On reconnaît facilement la tridymite à sa faible biréfringence ainsi qu'à sa très faible réfringence, grâce à laquelle le quartz paraît en relief au milieu d'elle. Les sections *p* (0001) montrent les macles bien connues; en lumière convergente, on peut constater le signe positif de la bissectrice, l'écartement très faible des axes optiques. Dans les sections perpendiculaires à l'aplatissement, sections d'allongement négatif, les extinctions se font parallèlement aux côtés et à la trace des macles polysynthétiques qui ne sont visibles que grâce à la différence de biréfringence des diverses bandes.

Cette tridymite pénètre dans les moindres anfractuosités du quartz que l'on voit se transformer peu à peu.

Le contact du quartz et de l'andésite est formé par une zone de wollastonite fibrolamellaire, implantée normalement à la paroi de séparation. La wollastonite joue ici le même rôle que l'augite dans les enclaves des autres gisements. Je ne l'ai moi-même rencontrée dans de telles con-

ditions que dans cet unique gisement. Ce même minéral se trouve aussi, mais en petite quantité, associé à la tridymite dans les fentes du quartz (Pl. I, fig. 2).

Toscane. — *M^te^ Amiata.* Je dois à l'obligeance de M. Lotti plusieurs échantillons de schistes quartzeux recueillis dans les *trachytes* de divers points du massif du M^te^ Amiata. Ils ont une certaine importance à cause de l'existence dans ce même gisement d'enclaves graphiteuses transformées qui seront décrites dans le paragraphe suivant.

Un échantillon de grès quartzeux provenant de Bagnolo ne renferme plus que de très petits grains de quartz intact, noyés dans du verre ; ce dernier est riche en grains et en microlites d'augite, qui se groupent de préférence en agrégats globulaires. Un autre échantillon est à plus grands éléments (M^te^ Amiata) : la proportion de quartz intact est plus considérable, le pyroxène récent forme des plages irrégulières moulant le quartz, il est accompagné d'un peu de biotite récente et d'une grande quantité de graphite. L'existence de ce minéral est intéressante, car elle prouve l'identité d'origine de ces quartzites et des enclaves transformées auxquelles il a été fait allusion plus haut. Le quartz renferme des inclusions gazeuses et vitreuses à bulle.

Deux autres enclaves sont constituées par des roches finement schisteuses, sans mica ni graphite. Au microscope, on constate qu'elles sont formées de lits alternativement composés de quartz et de cordiérite.

La cordiérite est généralement couchée suivant la schistosité de la roche : tantôt elle a des formes distinctes et tantôt, au contraire, elle forme de longues plages moulant des grains de quartz. Elle renferme, en quantité considérable, des aiguilles de sillimanite et en moindre quantité

des aiguilles de rutile. Le quartz renferme les mêmes minéraux en inclusions.

L'un des échantillons est absolument intact (Pian Castagnajo); dans l'autre (Bagnolo), on voit sur les bords de quelques grains de quartz une mince zone de matière vitreuse, en même temps que dans leur masse se développent des inclusions vitreuses à bulle qui existent aussi çà et là dans la cordiérite; enfin, plus rarement, apparaissent quelques plages d'orthose de nouvelle formation.

A l'état intact, ces roches ressemblent à des quartzites anciens modifiés par la granulite et telle est sans doute leur nature.

Iles éoliennes. — *Vulcano.* J'ai observé une enclave remarquable dans une *andésite à sanidine* recueillie par M. Fouqué dans l'île de Vulcano. Elle consiste en un petit fragment de roche quartzeuse (grès ou quartzite).

Quand on examine une lame mince de cette enclave en lumière naturelle en baissant le condenseur du microscope, on constate qu'elle est constituée par des grains de quartz, limpides, riches en inclusions gazeuses et en inclusions vitreuses à bulle, englobées dans une substance incolore moins réfringente. Chaque grain de quartz est corrodé sur les bords, frangé de dentelures à formes bizarres (fig. 12). Les grains sont parfois entourés par une sorte de cassure perlitique laissant une petite quantité de la substance peu réfringente entre elle et le quartz central.

Un examen plus approfondi fait voir que la masse incolore, différant du quartz, est formée de cristaux allongés de 0^{mm} 10 à 0^{mm} 5, séparés les uns des autres par une très petite quantité de matière vitreuse. Çà et là existent des aiguilles ou des cristallites de pyroxène.

L'étude de la roche en lumière polarisée ne montre rien d'anormal dans le quartz. Quant au minéral peu réfrin-

gent, il est formé par de la tridymite possédant toutes les propriétés énumérées dans celle de l'enclave de Santorin étudiée plus haut. Toutefois, ici, les cristaux sont tous épais et à contours nets; les groupements intérieurs, au lieu d'être rectilignes, se présentent sous forme de facules. De plus, les macles suivant b^6 $(10\bar{1}6)$ ou $b^{4/3}$ $(30\bar{3}4)$ sont fré-

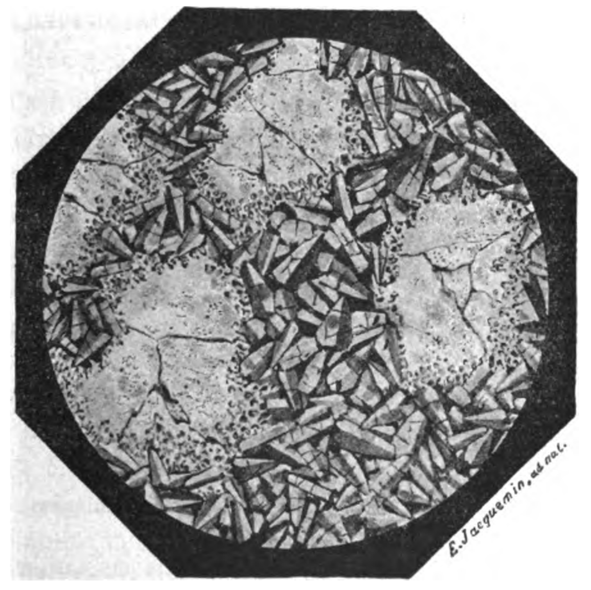


FIG. 12. — Grains de quartz en voie de transformation en grands cristaux de tridymite (Vulcano).

quentes. Elles affectent une forme conique très caractéristique, que l'on peut voir dans la figure 12.

Cette roche, formée en partie de tridymite, est des plus étranges. Son mode de production est du reste facile à expliquer. Le quartz a été longtemps maintenu à une haute température et a pu se transformer ainsi en tridymite comme cela a lieu parfois accidentellement dans les fours métallurgiques.

M. Mallard a bien voulu me remettre un fragment de la tridymite qu'il a observée[1] comme produit de transformation du quartz d'une brique restée pendant 18 mois dans un four à creusets pour la fusion de l'acier (usine d'Assailly); j'ai pu constater son identité complète avec la tridymite qui vient d'être décrite.

J'ai trouvé en outre la tridymite possédant les mêmes formes et les mêmes propriétés dans les briques d'un four de la verrerie Appert.

Arménie. — Les trachytes à hypersthène des environs de Borjom contiennent accidentellement des grains de quartz étranger. Ils sont entourés par une zone de verre incolore, cerclée de microlites d'augite.

Caucase — M. Lagorio a signalé[2] la wollastonite autour d'enclaves de quartz dans une *andésite* du Kasbeck : il a trouvé aussi ce minéral dans les druses de la roche volcanique.

II. — Enclaves de roches quartzofeldspathiques.

Résumé et conclusions. — Dans ce paragraphe, j'ai cru devoir étudier séparément les enclaves quartzofeldspathiques dans les roches suivantes :

A. *Trachytes et andésites acides*;
B. *Trachytes à haüyne*;
C. *Phonolites*;

les modifications exercées par ces diverses roches présentant entre elles quelques différences. Le nombre d'échantillons étudiés est de beaucoup inférieur à celui des

1. *Bull. Soc. minér.*, XIII, 172, 1890.
2. Die Andesite des Kaukasus. Dorpat, 1878.

enclaves similaires que j'ai observées dans les roches basaltoïdes.

A. *Trachytes et andésites acides.* — D'une façon générale, les enclaves de ce groupe ont été soumises à une température inférieure à celle qu'ont subies les enclaves des roches basaltoïdes. Les phénomènes de scorification y sont rares. Les recristallisations, au contraire, y sont extrêmement énergiques. Elles semblent dues surtout à l'action de minéralisateurs. Souvent, les produits ainsi formés enlèvent à l'enclave son cachet d'origine, aussi l'interprétation est-elle parfois difficile, et ce n'est que par la comparaison d'échantillons provenant de gisements très divers qu'il est possible de reconstituer leur histoire.

Un fait frappe l'attention tout d'abord : c'est l'abondance dans ces enclaves de quelques minéraux, et notamment de la cordiérite et de l'andalousite, qui sont généralement peu abondants dans les roches anciennes des régions d'où proviennent ces enclaves ou qui même n'y ont jamais été signalés. La première idée qui vient à l'esprit est d'attribuer ces minéraux à l'action de la roche volcanique englobante. L'existence dans plusieurs gisements d'enclaves de granulite ou de gneiss à cordiérite, andalousite, sillimanite, dont j'ai pu suivre toutes les modifications, permet toutefois de rejeter cette hypothèse dans les cas que j'ai moi-même étudiés et l'on peut dire, d'une façon générale, que si la cordiérite et l'andalousite sont fréquentes dans les enclaves modifiées des roches trachytoïdes, c'est que, parmi les éléments des granulites et des gneiss enclavés, ce sont ces minéraux qui résistent le mieux à l'action du magma trachytique. Il en résulte une sorte d'enrichissement en minéraux rares qui rappelle celui qui se produit dans les cours d'eau charriant des sables granulitiques. Dans ces derniers, les minéraux durs, peu abondants au

milieu des roches détruites, finissent par se concentrer ainsi en des points particuliers.

Toutefois, quelques auteurs, M. Osann entre autres, ont annoncé avoir observé la recristallisation de cordiérite aux alentours d'enclaves de roches anciennes à cordiérite ou ont admis sa cristallisation directe dans le magma volcanique. Je n'ai rien trouvé de semblable dans les échantillons que j'ai étudiés et il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que tous les essais qui ont été faits pour faire cristalliser de la cordiérite dans des roches volcaniques acides fondues, sont restés sans résultats.

Le cas le plus simple qui se présente, comme modification, est celui qu'on observe dans les pegmatites enclavées dans les trachytes de Menet : elles sont exclusivement composées de feldspath et de quartz. Ce dernier se fendille ; comme toujours, ses inclusions liquides se vident; le feldspath est criblé d'inclusions gazeuses, il se brise suivant ses deux clivages, puis il est imbibé par du feldspath récent plus sodique, s'orientant cristallographiquement sur lui (Pl. V, fig. 2) et pouvant même l'épigéniser totalement.

Plus rarement, le feldspath est fondu et recristallise sous forme rectangulaire, comme dans les enclaves des roches basiques, ou sous forme de larges sphérolites à allongement négatif, rappelant celui des porphyres pétrosiliceux.

Les phénomènes sont plus complexes dans le cas d'enclaves de granite ou de gneiss. Un fait est général, c'est la façon dont la biotite se modifie; elle se transforme en spinelle vert et magnétite octaédriques, souvent accompagnés de biotite recristallisée. Ces substances jalonnent le moule du minéral disparu et sont englobées par du feldspath récent. (Pl. V, fig. 5 et 11). Fréquemment (le

Capucin), il se développe en outre, aux dépens de la biotite, de l'hypersthène d'un vert très foncé, plus rarement enfin de l'augite.

Les modifications subies par l'enclave peuvent en général être ramenées à deux types. Le premier, qui s'observe dans les enclaves de trachyte du Capucin, est caractérisé par la corrosion graduelle des feldspaths qui, attaqués, soit sur leurs bords, soit à leur périphérie, sont remplacés peu à peu par de l'orthose sodique de nouvelle génération offrant la même orientation que le feldspath ancien. Le quartz est plus ou moins complètement résorbé ; la cordiérite, l'andalousite sont criblées d'inclusions vitreuses et de spinelle de nouvelle formation (Pl. IV, fig. 4 et 11). La roche conserve sa structure primordiale. Souvent le volume des minéraux de nouvelle génération n'est pas égal à celui des minéraux résorbés (Mont-Dore), il en résulte des cavités que tapissent (Pl. V, fig. 3) de nombreux minéraux récents bien cristallisés : tridymite, orthose, hypersthène, oligiste, etc.

Dans le second type, les feldspaths récents sont grenus, n'ont plus aucune relation d'orientation avec les minéraux anciens ; la schistosité et la forme de l'enclave sont encore respectées parce que la transformation s'est produite lit par lit. La roche est criblée de spinelle et de magnétite récents ; il se développe en outre en abondance de la biotite de nouvelle formation. Les cristaux feldspathiques de nouvelle génération ont souvent des formes géométriques et sont pressés les uns contre les autres, séparés seulement par un peu de verre (Eifel, Pl. IV, fig. 2 et 6). Les grands cristaux d'andalousite (Plateau Central de la France, Eifel, Siebengebirge, etc.), plus rarement ceux de disthène et de sillimanite (Monte Amiata) sont eux-mêmes attaqués et se transforment en un mélange de spinelle, de corindon en

cristallites ou en grands cristaux (fig. 14 et Pl. IV, fig. 2 et 6). Il y a en outre, quelquefois, formation de sillimanite qu'il n'est guère possible de distinguer de la sillimanite ancienne. Enfin, de nombreux petits cristaux de rutile sont disséminés dans la roche : ils sont sans doute formés aux dépens de la biotite.

A Fontenille et au Lioran, il est possible de suivre pas à pas les transformations qui viennent d'être décrites. Dans l'Eifel, le Siebengebirge, en Toscane, etc., au contraire, les enclaves ne nous ont montré que le terme ultime de la transformation des feldspaths. Fréquemment, on voit varier la structure de la roche nouvellement formée, qui est tantôt à grains extrêmement fins (Pl. IV, fig. 3 et 7), tantôt à plages feldspathiques très grandes, donnant à la roche l'apparence d'une kersantite; dans un grand nombre de cas, on rencontre des vestiges de la roche primordiale sous forme de cordiérite, de moules d'andalousite, etc. (Pl. IV, fig. 5 et 10); mais souvent aussi, ils font défaut et la nature de l'enclave ne peut plus être établie que par analogie avec celles dont toutes les étapes successives de transformation ont pu être suivies.

Un fait qui mérite d'appeler l'attention est l'abondance de l'hypersthène, comme élément récent des enclaves quartzofeldspathiques dans les roches volcaniques acides, et la rareté relative de l'augite qui ne s'observe que dans des gisements spéciaux. Dans un grand nombre de trachytes et d'andésites normalement dépourvus d'hypersthène, ce minéral se forme en abondance à proximité des enclaves, dans la roche volcanique.

B. *Trachytes à haüyne.* — Les enclaves que l'on trouve au lac de Laach (granulites, gneiss et schistes, souvent riches en cordiérite, andalousite, sillimanite, corindon, etc.) présentent des modifications semblant indiquer l'action

d'une température plus élevée que celle que nous avons constatée dans les trachytes normaux. L'action des minéralisateurs paraît avoir été au contraire faible : cela tient sans doute à ce que les blocs étudiés n'ont été que peu de temps soumis à l'action de la roche volcanique et qu'ils ont été brusquement arrachés au sous-sol par les grandes explosions dont cette région a été le siège.

Les faits les plus intéressants à signaler dans les enclaves granitiques consistent dans la fusion de la biotite et la formation à ses dépens de spinelle, de magnétite, de biotite et souvent de grands cristaux d'hypersthène. Quant aux gneiss à cordiérite, ils sont intacts ou bien en voie de transformation ; dans d'autres cas, enfin, la cordiérite, le grenat, l'andalousite, une partie du quartz subsistent dans le verre, seuls ou accompagnés d'hypersthène, de biotite et de feldspath recristallisés comme dans les roches décrites à Santorin, au cap de Gates, etc. Ces enclaves à cordiérite ont donné lieu à de nombreuses discussions, quelques auteurs voulant y voir des produits d'origine volcanique ou des minéraux recristallisés, tandis que d'autres les considéraient comme témoins de schistes plus ou moins modifiés. Je me suis prononcé pour l'origine ancienne de la cordiérite des échantillons que j'ai eus entre les mains.

C. *Phonolites.* — Les documents que j'ai pu recueillir sur les enclaves quartzofeldspathiques des *phonolites* sont peu nombreux : ils consistent dans des fragments de gneiss, recueillis dans divers gisements du Plateau Central de la France et du Kaiserstuhl. Les transformations sont très intenses et souvent complètes ; elles sont très analogues à celles que nous avons étudiées dans les trachytes et les andésites acides.

Il y a en général fusion plus ou moins complète des feldspaths et recristallisation d'orthose sodique grenue ou

à formes nettes. Le mica se transforme en spinellides et parfois en sillimanite (Kaiserstuhl). Ce dernier minéral, qui existe aussi à l'état ancien dans quelques gisements (Valette), est parfois épigénisé par du spinelle.

L'œgyrine ou l'augite œgyrinique est fréquente dans ces enclaves, surtout dans les parties où le magma phonolitique a pu pénétrer la roche englobée, l'hypersthène y est absent.

Quant au verre non recristallisé, il est presque toujours transformé en zéolites (mésotype, analcime, thomsonite), au milieu desquelles s'observent souvent de beaux cristaux d'œgyrine (Valette), et parfois de la wollastonite (Kaiserstuhl).

Enfin, certaines enclaves du Kaiserstuhl ne renferment plus qu'un mélange schisteux de feldspaths et de biotite, accompagnés de sillimanite, de spinellides, de corindon et de pyroxène : les zéolites y sont généralement abondantes.

La nature de ces enclaves ne peut guère être établie que par analogie avec celles dont les divers degrés de transformation ont pu être étudiés.

A. *Trachytes et andésites acides.*

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme.* Je dois à l'obligeance de M. Vélain un bloc de *trachyte à biotite et augite* (*dômite*) recueilli dans la cinérite supérieure de Pailloux, au Sud-Est du Puy Gros (Mont-Dore). Cet échantillon renferme une enclave très intéressante, c'est une granulite à cordiérite, andalousite, sillimanite, analogue à celles que j'ai rencontrées non loin de là dans les basaltes du lac de Guéry. Elle fait partie de la même série géologique que les enclaves à cordiérite du Capucin qui seront étudiées plus loin.

L'intérêt des enclaves de Pailloux réside surtout dans ce fait qu'à côté d'enclaves plus ou moins modifiées, s'en trouvent d'autres, absolument intactes, dont l'origine est indiscutable.

Les granulites non modifiées sont riches en quartz; elles sont essentiellement composées par de l'orthose, de l'oligoclase et de la cordiérite.

La cordiérite se présente en cristaux allongés atteignant 2 mm; leurs bords sont souvent rectilignes; ils offrent les macles polysynthétiques suivant *m* (110); ils sont souvent entourés par une gaîne légère de limonite. Leur couleur bleue et leur polychroïsme sont intenses. On observe en lames minces :

n_g, n_m } violet.
n_p incolore.

n_p étant parallèle à l'axe vertical, on voit que le maximum de polychroïsme a toujours lieu transversalement et que les sections *p* (001) restent bleues sans grand polychroïsme, à cause de l'absorption presque égale suivant n_g et n_m. Toutes les autres propriétés sont celles de la cordiérite normale.

A ces minéraux essentiels, il faut ajouter la sillimanite en fines aiguilles enchevêtrées, englobées par la cordiérite et tous les autres éléments de la roche. L'andalousite forme aussi de grands cristaux cristallitiques souvent englobés dans les touffes d'aiguilles de sillimanite. La biréfringence et le signe de l'allongement, différents dans les deux minéraux les font, dès le premier coup d'œil, distinguer l'un de l'autre. L'andalousite ne forme du reste pas de fibres comme la sillimanite.

D'une façon générale, on constate l'existence d'une quantité considérable d'inclusions gazeuses et surtout vitreuses

dans tous les éléments essentiels et spécialement dans la cordiérite et le quartz. Les inclusions vitreuses ont presque toutes une bulle gazeuse ou des octaèdres de spinellides. Elles affectent souvent la forme de cristaux négatifs, surtout dans la cordiérite (longs canaux allongés suivant l'axe vertical).

Au contact du trachyte et de l'enclave, on voit cette dernière fuser dans la roche volcanique. Le feldspath disparaît le premier, le quartz prend des formes arrondies, la cordiérite resto intacte. Le trachyte qui est normalement très acide, formé en grande partie par des microlites d'orthose, ne semble guère modifié par cet apport de matière étrangère. Au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'enclave, on voit les fragments granulitiques augmenter; enfin, on arrive à la roche non pénétrée par le trachyte. (Pl. IV, fig. 8.) Les feldspaths et le quartz sont généralement fondus sur les bords; l'enclave a dû subir, au moment de son englobement, une sorte d'étonnement qui, en rendant les divers minéraux indépendants les uns des autres, leur a permis de fondre chacun à sa périphérie. Le verre résultant est incolore ou brun clair (peut-être par suite de l'existence d'un peu de biotite fondue). Ce verre est parfois dépourvu de cristaux; il possède une structure fluidale rappelant celle des pechsteins. Le plus souvent, il s'y développe quelques microlites rectangulaires d'orthose ou des cristaux du même minéral aplatis suivant g^1 (010), avec contours p (001), $a^{1/2}$ ($\bar{2}01$), se groupant en grand nombre pour former le squelette d'un grand cristal. Le verre est parfois très riche en tridymite. Enfin, par places, le produit de la fusion est entièrement recristallisé sous forme de feldspath groupé en rosettes ou en sphérolites autour d'éléments anciens.

Il faut aussi attribuer une origine récente à quelques

rares octaèdres de spinelle qui se développent dans la cordiérite au milieu des touffes de sillimanite.

Mont-Dore. — Les *trachytes à biotite et hornblende* du rocher du Capucin, au Mont-Dore, renferment en très grande quantité des enclaves variées qui ont depuis longtemps attiré l'attention à cause des minéraux qui tapissent leurs druses[1]. Je les ai moi-même étudiés à deux reprises[2], et j'ai montré que les enclaves riches en cordiérite sont bien des fragments de gneiss arrachés à la profondeur. On trouve en outre dans le même gisement des enclaves de granite et de granulite.

Toutes ces enclaves sont surtout abondantes au sommet du rocher du Capucin; on peut en recueillir aussi en grande quantité dans les bois qui couvrent la montagne au dessus du village du Mont-Dore. Elles sont anguleuses, et se détachent difficilement du trachyte qui les englobe.

Des enclaves du même genre se rencontrent aussi dans d'autres points de la vallée du Mont-Dore et notamment près de la Grande Cascade, dans le ravin des Egravats, etc., mais elles y sont assez rares.

Gneiss à cordiérite. Les enclaves de cette roche sont anguleuses et tranchent par leur couleur bleue noirâtre sur le trachyte gris clair. Elles sont fréquemment vacuolaires et renferment alors des minéraux de nouvelle génération.

1. Des Cloizeaux, *Manuel de minéralogie*, II, *Appendice*, p. XIV, 1874, et *Neues Jahrb. Briefl. Mittheil.*, 45, 1878.
Vom Rath, *Poggend. Ann.* CLXII, 27, 1874.
Gonnard, *Ac. Sc. etc. de Lyon*, XXIV, 1879. — *Minér. du Puy-de-Dôme*, Paris, Savy, 1876. — *Bull. Soc. minér.* II, 150 (1879), IV 43 (1881), VIII 46 (1885).
Œbbecke, *Bull. Soc. minér.* VIII, 56, (1885). — Busz. *Zeitschr. f. Kryst.* XVII, 554, 1890.
2. *Bull. Carte géol. de la France*, n° 11, t. II, 48, 1890, et *Bull. Soc. géol.*, 3ᵉ *série*, XVIII, 845, 1891.

L'examen microscopique montre que ces enclaves sont essentiellement formées de cordiérite, d'andalousite, de sillimanite, de corindon, de grenat almandin, d'apatite, d'orthose, d'oligoclase et de quartz (Pl. IV, fig. 11).

La cordiérite est semblable à celle des enclaves de Pailloux ; l'andalousite se présente en très grandes plages.

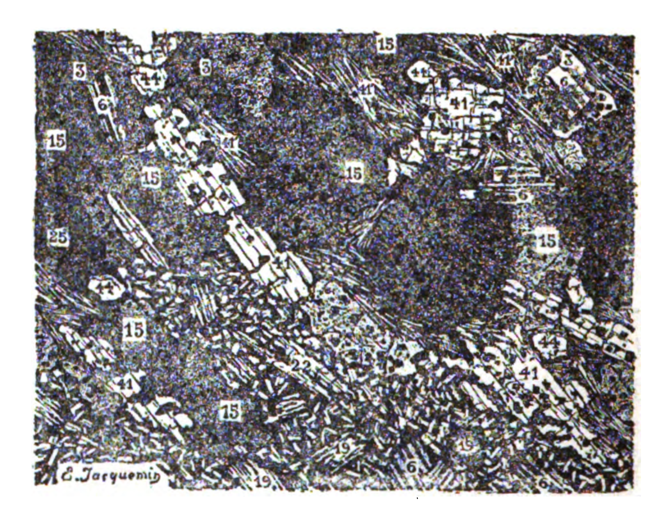


FIG. 13. — Enclave de gneiss à cordiérite dans le trachyte du Capucin. — *Éléments anciens* : 6 oligoclase, 15 cordiérite, 19 biotite, 41 andalousite, 41′ sillimanite, 44 corindon. — *Éléments récents* : 3 orthose ; spinellides (spinelle et magnétite en petits grains noirs non numérotés). On voit l'orthose entourer l'oligoclase ancienne.

Les modifications subies par ces roches consistent surtout dans la résorption, souvent complète, du quartz, de l'orthose et d'une partie de l'oligoclase, qui constituaient primitivement la roche, et dans leur remplacement par de l'orthose (sanidine) qui parfois s'oriente sur les restes corrodés du feldspath ancien (fig. 13). La corrosion ne se fait pas toujours par la périphérie des cristaux. On observe dans quelques cas des facules de feldspath récent au

milieu de feldspath ancien, facules rappelant le quartz de corrosion des roches granitiques anciennes.

Les autres éléments de la roche ne sont pas altérés, mais il s'y développe des inclusions vitreuses à bulle en même temps qu'une très grande quantité de spinelle vert et de magnétite.

Le spinelle forme parfois des octaèdres a^1 (111) absolument creux et réduits à une mince pellicule ; ils offrent alors l'aspect d'une petite boîte octaédrique, dont on perçoit les détails en faisant mouvoir lentement la vis micrométrique du microscope. Le spinelle s'amasse autour des cristaux anciens et principalement autour de l'andalousite. Souvent le spinelle est placé au milieu d'une inclusion vitreuse avec ou sans bulle de gaz.

La magnétite se produit de préférence autour des cristaux de cordiérite dont elle dessine les formes ; on la trouve aussi autour ou dans le grenat et la biotite.

Il se forme, en outre, un autre élément, l'hypersthène, qui est souvent très abondant, moulant tous les autres minéraux, même l'orthose récente. Cet hypersthène est très ferrifère et possède une couleur et un polychroïsme parfois très intenses :

$\mathbf{n_g}$ = vert bouteille à vert olivine.
$\mathbf{n_m}$ = rouge clair.
$\mathbf{n_p}$ = rouge brunâtre.

Il se développe avec abondance dans les parties de la roche riches en biotite, entourant ce dernier minéral qui semble, par sa fusion, avoir déterminé la formation du pyroxène rhombique qui nous occupe. La biotite est rarement intacte et presque toujours plus ou moins transformée en produits ferrugineux.

A tous les minéraux qui viennent d'être énumérés, il y a lieu d'ajouter la tridymite, souvent très abondante.

Dans beaucoup d'échantillons, tous les éléments anciens du gneiss, sauf l'andalousite, la cordiérite, la sillimanite et une partie de la biotite ont disparu, et l'on ne peut expliquer la persistance de la forme de l'enclave et de la disposition relative de ses éléments anciens, qu'en admettant que la résorption du quartz et du feldspath ancien s'est faite d'une façon lente, au fur et à mesure que l'orthose récente recristallisait et empêchait l'enclave de se disloquer.

Cette résorption parfois complète du quartz et des feldspaths des gneiss à cordiérite peut expliquer pourquoi l'on ne trouve au Capucin que des enclaves de gneiss à cordiérite et pas de gneiss normaux. Les fragments de gneiss normaux ont pû être complètement résorbés ou transformés puisqu'ils ne renfermaient pas de minéraux réfractaires à l'action du magma trachytique.

Quant au corindon, il accompagne toujours l'andalousite; il s'est peut-être formé à ses dépens, ainsi que cela a lieu dans les enclaves d'autres gisements que j'étudierai plus loin, bien que certains cristaux semblent être anciens.

Les éléments inattaqués sont souvent disposés dans le gneiss par lits, séparés par des bandes quartzofeldspathiques résorbées ; il existe des cas où le volume des minéraux de nouvelle génération n'est pas égal à celui des éléments résorbés ; il en résulte des géodes dont l'ossature est formée par les éléments intacts du gneiss. Leurs parois sont recouvertes par une couche d'orthose récente. Il s'y développe alors de beaux minéraux drusiques qu'il ne faut pas confondre avec les minéraux anciens (grenat, cordiérite, quartz) en partie décapés, qui s'observent parfois au milieu d'eux.

Les minéraux formés dans les druses sont les suivants :

hypersthène, *tridymite*, *magnétite*, *spinelle*, *oligiste et orthose*.

L'hypersthène et la tridymite de ce gisement sont aujourd'hui trop connus des minéralogistes pour qu'il soit besoin d'insister beaucoup sur leurs propriétés.

Je rappellerai seulement les formes de l'hypersthène. Ses cristaux sont très allongés suivant l'axe vertical, ils sont brun verdâtre; les formes suivantes y ont été signalées : m (110), g^1 (010), h^1 (100), g^3 (120), $a^{1/2}$ (201), $e^{5/4}$ (045), e^2 (012), $b^{1/2}$ (111), ($b^1 b^{1/3} h^{1/2}$) (212), ($b^{1/3} b^{1/5} h^{1/2}$) (412), a_3 (211), ($b^1 b^{1/5} g^{1/2}$) (232). Ces cristaux ne sont pas aplatis comme ceux des enclaves volcaniques qui seront décrites plus loin.

Il est intéressant de remarquer l'absence complète de pyroxène monoclinique dans les druses de ces enclaves acides, tandis que ce minéral accompagne ou même remplace l'hypersthène dans les enclaves non quartzifères du même gisement.

M. Gonnard m'a confié un échantillon qui renferme une substance blanche, formant des palmes très délicates, monoréfringentes, constituées par de la silice. C'est probablement une forme particulière de tridymite que le peu de substance ne m'a pas permis d'étudier plus complètement.

L'orthose est rarement en cristaux suffisamment nets pour qu'il soit possible de les déterminer cristallographiquement. Dans un échantillon que je dois à l'obligeance de M. des Cloizeaux, j'ai pu cependant isoler quelques cristaux fort nets d'environ 1^{mm}. Ils sont aplatis suivant p (001); cet aplatissement est peu habituel aux feldspaths; il a été déjà signalé par M. Iddings[1] dans l'orthose sodique

1. Obsidian Cliff, *Seventh Annual Report. U. S. Geol. Surv.*, 1885-86, p. 267, Washington, 1888.

des lithophyses des rhyolites du Yellowstone Park. Les cristaux du Capucin sont en général riches en faces : p (001), m (110), g^1 (010), h^1 (100), g^2 (130), a^1 ($\bar{1}01$), $a^{1/2}$ ($\bar{2}01$), $e^{1/2}$ (021). Les dômes et les pyramides ne forment que de très petites facettes. Dans quelques cristaux, les faces g^2 sont très développées, h^1 et g^1 très réduites. La macle de Four la Brouque (Manebach) a été observée.

Il est facile de constater en lumière polarisée soit parallèle, soit convergente, les propriétés optiques habituelles des faces p de l'orthose (orthose non déformée).

La fig. 3 de la Pl. V donne une idée de la structure des parties poreuses de ces enclaves en grande partie formées d'éléments récents, moulant la cordiérite ancienne.

J'ai rencontré plusieurs fois au Capucin des enclaves grenues constituées par du labrador, de la biotite très fraîche ; le spinelle vert et la magnétite sont très abondants, accompagnés par de longues baguettes de zircon et de l'hypersthène postérieur à tous les autres éléments.

Dans un travail antérieur, j'ai émis l'opinion que ces roches pouvaient être des kersantites ou une variété de gneiss. Leur comparaison avec certaines des enclaves qui seront décrites plus loin me font rejeter cette première manière de voir : ces roches sont certainement le résultat de la recristallisation complète d'enclaves de gneiss. On y trouve rarement de la cordiérite.

Un échantillon, grossièrement rubané, montrait, en outre de la composition minéralogique énoncée plus haut, un peu d'augite. L'enclave était fortement corrodée et, dans ses cavités, j'ai observé des phénomènes de reproduction d'orthose, de tridymite, d'hypersthène, d'oligiste, analogues à ceux qui viennent d'être signalés dans les enclaves de gneiss. Il est probable que cette enclave, après avoir subi une première recristallisation en profondeur, a

été charriée dans le magma trachytique. Se trouvant alors placée dans des conditions physiques nouvelles, elle a subi de nouvelles transformations. La preuve que la recristallisation de cette enclave a pu se produire en profondeur réside dans ce fait, que j'ai découvert des enclaves analogues dans des andésites augitiques (passant aux diabases), elles-mêmes enclavées par le trachyte du Capucin. Ces andésites sont inconnues en place dans la région.

Granite. Les enclaves de granite sont arrondies ; M. P. Gautier m'en a récemment envoyé plusieurs échantillons qu'il a recueillis au sommet même du rocher du Capucin. Elles se détachent beaucoup plus facilement du trachyte que les enclaves de gneiss à cordiérite. L'une d'elles est constituée par de la biotite, de l'oligoclase, de l'orthose et du quartz (rare). L'orthose moule l'oligoclase. Tous les éléments blancs sont remplis d'inclusions gazeuses comme dans les roches qui ont été soumises à une très haute température après leur consolidation.

La roche est creusée de nombreuses cavités produites par la corrosion de ses éléments (c'est le quartz qui disparaît le premier), elle prend alors une sorte de structure miarolitique. Dans les nombreuses géodes ainsi formées, se produisent de l'hypersthène de couleur claire et de l'orthose, analogue à celle que nous avons vue dans les gneiss à cordiérite. De même que dans les enclaves de gneiss, l'orthose récente ne renferme pas les inclusions gazeuses signalées dans les éléments anciens ; elle s'oriente souvent sur les feldspaths anciens corrodés.

La biotite est très altérée et elle est en partie remplacée par un mélange de magnétite et de feldspath moulé par l'hypersthène ; celui-ci, en lames minces, est à peine coloré et peu polychroïque, contrastant par suite avec l'hypersthène des roches précédentes.

Dans quelques échantillons, on observe la recristallisation de très nombreuses paillettes de biotite et d'une grande quantité de gros cristaux d'hypersthène.

Le feldspath recristallisé accompagné de tridymite affecte parfois les formes représentées par la fig. 3 de la Pl. V; mais, dans plusieurs échantillons originairement très pauvres en quartz, la tridymite ne se produit plus, le feldspath récent, en partie triclinique, devient franchement grenu, il englobe l'hypersthène parfois dentelliforme et cristallitique. La roche recristallisée présente alors une grande analogie avec certains gneiss à pyroxène. Dans un de mes précédents mémoires[1], j'ai décrit une roche analogue provenant également du Capucin et une autre recueillie par M. Michel Lévy dans les *andésites* de Bessole; j'avais fait alors des réserves sur son origine que mes nouveaux échantillons viennent éclairer aujourd'hui. C'est là un nouvel exemple des difficultés d'interprétation que l'on rencontre à chaque pas dans l'étude des enclaves des roches volcaniques, difficultés qui ne peuvent être résolues que par l'étude d'un nombre considérable d'échantillons.

Roc de Cacadogne. — Je dois à M. P. Gautier une enclave de granite provenant du *trachyte à hornblende* du Roc de Cacadogne, près du Sancy : ce granite est riche en pyroxène, sphène, zircon et apatite. Il est parcouru de veinules d'un verre brunâtre. Le mica est transformé en un agrégat de magnétite et d'augite; le pyroxène ancien est en partie fondu et recristallisé sous forme de grains irréguliers entourant les cristaux anciens. Le feldspath et le quartz sont à peine fondus et leur verre est dépourvu de produits recristallisés. Quant au sphène, il fond et s'entoure d'une bordure noire opaque.

1. *Bull. Soc. géol.*, *op. cit.*, p. 858 et fig. 6, Pl. XXVI.

Besse. — Les *andésites à olivine* de Besse contiennent, au dessous de l'église de ce village, de petites enclaves de quartz et de roches schisteuses analogues à celles du Capucin. L'andésite est très poreuse et ses cavités sont tapissées de petits cristaux d'hypersthène brunâtre. Une de ces enclaves dont les feldspaths anciens sont criblés d'inclusions gazeuses, renferme de grands cristaux d'andalousite partiellement transformés en un fouillis de petites aiguilles de sillimanite, d'octaèdres verts de spinelle, de cristallites de corindon bleu et de cristaux de rutile. Les éléments d'une partie de ces minéraux récents ont été, sans doute, fournis par de la biotite ancienne, presque entièrement transformée.

Fontenille. — J'ai trouvé un assez grand nombre d'enclaves dans le *trachyte augitique*, mis à nu récemment dans un petit chemin conduisant au village de Fontenille, près Champeix. Elles sont en grande partie constituées par des fragments anguleux d'une roche noire schisteuse et très riche en mica, rappelant un gneiss surmicacé.

Des cavités de corrosion y sont fréquentes ; elles sont tapissées par de la tridymite.

L'examen de lames minces, taillées dans ces enclaves, montre qu'elles sont constituées par deux types ne différant l'un de l'autre que par la plus ou moins grande dimension des feldspaths qui les composent en grande partie.

Elles sont en effet, formées de grains feldspathiques, atteignant parfois $0^{mm}25$ et dans d'autres cas ne dépassant pas $0^{mm}01$; ils sont constitués par de l'orthose non maclée et de l'oligoclase. On observe en outre beaucoup de biotite et, dans un grand nombre d'échantillons, une quantité prodigieuse d'octaèdres de spinelle vert ou de magnétite, accompagnés d'un fouillis de petites aiguilles de sillimanite et de fins cristaux de rutile.

Enfin, dans quelques morceaux, j'ai pu observer de gros grains de spinelle, assemblés de façon à former le moule de grands cristaux atteignant 2^{mm}; ils sont en général associés à du corindon incolore. Les sections parallèles à la base de ces moules montrent, en outre du spinelle, de petits rhomboèdres à un axe négatif de corindon. Ils sont aplatis suivant la base, alignés à côté les uns des autres et souvent groupés en forme de palmes. Les sections perpendiculaires à la base de ces assemblages font au contraire voir les cristaux de corindon sous forme de baguettes allongées suivant une direction de signe positif. Parfois, au milieu de ces pseudomorphoses, il existe de gros cristaux de corindon bleuâtre ou de spinelle vert, autour desquels les petits cristaux des mêmes minéraux disparaissent dans un rayon d'environ 0^{mm} 10 : la matière cristalline s'est concentrée en un point pour donner naissance à un cristal unique. Les sections de ces pseudomorphoses perpendiculaires à leur grand axe ont la forme de parallélogrammes très voisins d'un rectangle. (Voir fig. 14 et Pl. IV, fig. 12 et 6.)

Quelle signification faut-il attribuer à ces enclaves?

Ce sont des roches gneissiques en partie résorbées dont les éléments ont recristallisé sur place. Deux échantillons imparfaitement transformés m'ont en effet donné la clé de ces transformations.

Dans l'un d'eux, on voit, comme au Capucin, de grandes plages de feldspath ancien en voie de corrosion, elles se transforment en un agrégat grenu de feldspath. Tous les stades s'observent depuis le feldspath intact, jusqu'au feldspath ne formant plus qu'une trame légère et déchiquetée dans le minéral récent. Par places, et particulièrement au contact de l'enclave et du trachyte, on voit les feldspaths récents prendre des formes géométriques, soulignées par un petit résidu vitreux jaunâtre.

Une portion du spinelle provient de l'altération de la biotite qui, dans la roche, est imparfaitement altérée. Il se produit aussi de la biotite récente en grands cristaux, dans les parties où les recristallisations feldspathiques ont été très abondantes. Peut-être faut-il voir dans une portion de la sillimanite et du rutile, un produit de la transformation de la biotite. Mais une partie au moins de la sillimanite, formant des fouillis de fibrolite, me semble ancienne; le spinelle qui l'imprègne s'est évidemment formé à ses dépens.

Quant aux moules singuliers, actuellement constitués par un mélange de spinelle et de corindon, ils sont dus à des pseudomorphoses d'andalousite. Un de mes échantillons, en effet, montre, au milieu d'un de ces moules, un fragment d'andalousite intact, groupé à axes parallèles avec la sillimanite, suivant la loi que j'ai indiquée dans un travail précédent (voir Pl. IV, fig. 10). Il est entouré d'une grande quantité de cristallites de corindon, de spinelle, de rutile, le tout englobé par de grandes plages de feldspath. Il semble n'y avoir aucun doute sur la façon dont se produit la désagrégation de l'andalousite. Nous aurons du reste l'occasion d'observer des faits analogues dans plusieurs autres gisements.

Sommet du Puy-de-Dôme. — Les *dômites* qui, on le sait, sont des *trachytes non augitiques à mica noir et à hornblende*, m'avaient paru, à cause de leur très grande acidité, particulièrement intéressantes à examiner au point de vue de leurs enclaves. Ces dernières y sont rares et leur étude m'a quelque peu déçu des espérances que je fondais sur elles. Il semble en effet que, contrairement à ce qui se passe pour la plupart des trachytes étudiés dans ce chapitre, le facteur température ait joué un rôle prépondérant dans les modifications qu'elles ont subies. Les échan-

tillons que j'ai examinés consistent en granulite et en gneiss granulitique.

Les enclaves de granulite sont fortement disloquées, le mica est fondu à sa périphérie, le feldspath est parfois aussi en partie fondu : tous les éléments anciens sont alors cimentés par un verre incolore, ne renfermant guère que de la tridymite et çà et là quelques rares cristallites d'augite. Dans quelques échantillons seulement, j'ai pu obser-

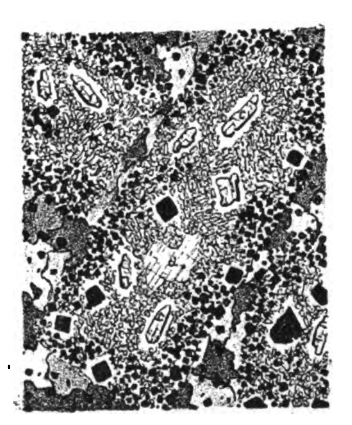


Fig. 14. — Pseudomorphose d'andalousite dans enclave gneissique du *trachyte* des Chazes près le Lioran (*lumière naturelle*). — *a* Fragment intact d'andalousite entouré de cristallites de corindon et extérieurement de spinelle. On voit que lorsqu'un grand cristal de corindon ou de spinelle se produit, il est entouré d'une zone exclusivement feldspathique; le fond de la roche est constitué par du feldspath récent.

ver la formation d'un peu d'orthose récente, finement grenue, formant des facules dans des feldspaths anciens ou cimentant des fragments épars de la roche disloquée. Quant aux débris entraînés dans la roche volcanique, ils ne présentent généralement aucun phénomène de recristallisation. Lorsque la dômite injecte la roche ancienne, elle ne semble pas subir de modifications endomorphes.

Ces granulites enclavées sont toutes riches en gros zircons rougeâtres.

Quant au gneiss granulitique dont je n'ai eu qu'un seul échantillon à ma disposition, il ne présente aucune trace de recristallisation ; son mica et son feldspath sont presque entièrement fondus.

Cantal. Les Chazes. — Quand on va de la gare du Lioran à Saint-Jacques-des-Blats, par l'ancienne route qui passe au dessus du tunnel, on trouve sur le versant qui regarde Saint-Jacques, en un point appelé les Chazes, une petite carrière ouverte dans un *trachyte à biotite.*

Les enclaves micacées schisteuses y sont fréquentes ; elles sont du même type que celles de Fontenille. On y rencontre les mêmes pseudomorphoses d'andalousite en spinelle et corindon (fig. 14). Elles sont remarquablement recristallisées et l'on pourrait penser qu'elles sont dues à des ségrégations, si l'on ne trouvait, çà et là, des débris des minéraux anciens. Localement, on voit des traînées larges de 1^{mm} dans lesquelles abonde de la matière vitreuse au milieu de laquelle se trouvent soit des gouttelettes de biotite naissante[1], soit des cristaux en trémies de feldspaths récents.

Ce qui ajoute à l'intérêt de ces enclaves, c'est le développement, au milieu d'elles, de quartz qui se produit en plages irrégulières ou en cristaux nets prismatiques dans la matière vitreuse. Il moule par places tous les éléments de la roche qui (sur une petite surface) ressemble alors à s'y méprendre à un granite. Ce quartz est accompagné de dolomie que l'on trouve en abondance dans les druses du trachyte. Il est évidemment postérieur à la solidification de la roche et constitue un élément secondaire d'origine hydrothermale, qui n'a rien à voir avec le

1. Ces lamelles lenticulaires de biotite sont tout à fait identiques à celles que M. Michel Lévy a récemment observées à Dielette (Manche) dans des *grès de May*, modifiés par le granite.

métamorphisme exercé par la roche volcanique. Ces phénomènes de quartzifications s'observent aussi dans le trachyte, qui rappelle comme composition et structure celui de Monselice (page 220).

Le Lioran. — J'ai signalé déjà[1] l'existence d'enclaves gneissiques dans l'andésite du ravin de Boué. Elles ont été recueillies par M. Fouqué dans une petite carrière ouverte dans un dyke d'*andésite à hornblende* recouverte par de la dômite. Le ravin de Boué aboutit au pont qui se trouve au dessous de la gare du Lioran.

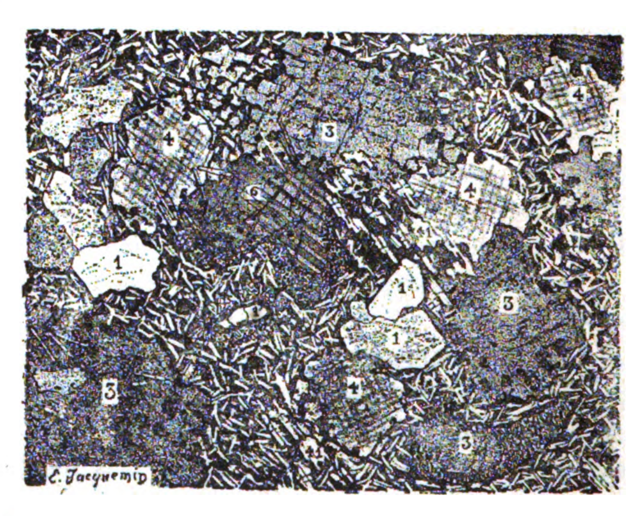


Fig. 15. — Enclave gneissique imbibée par l'andésite de la carrière de Boué, au Lioran. — Les éléments du gneiss : [1 quartz, 3 orthose, 4 microcline, 6 oligoclase, 41 andalousite] sont disloqués par les microlites de l'andésite et sont en voie de désagrégation : au milieu de la figure, mais un peu à gauche, un grain de quartz (1') est entouré d'une couronne de verre et d'augite.

Dans cette andésite, abondent des produits secondaires tels que des concrétions calcaires, de l'aragonite en masses bacillaires rosées, etc. Les enclaves consistent en frag-

1. *Bull. Carte géol. de la France*, n° 11, t. II, 47, et fig. 7, 1890.

ments de quartz et en roches quartzofeldspathiques ayant fusé dans l'andésite. Leurs éléments sont fortement disloqués; ce sont des feldspaths, du mica et du quartz, avec parfois de l'andalousite et de la sillimanite.

Les feldspaths sont tellement criblés d'inclusions gazeuses, qu'ils en perdent localement leur transparence. Ces inclusions ont, par places, été postérieurement remplies par des liquides (*inclusions liquides à bulle mobile*). Ces feldspaths sont démolis et recristallisent suivant le mode décrit plus haut.

Le mica présente les transformations habituelles en spinellides.

Localement, les grains de quartz sont entourés par des microlites d'augite, bien que ces derniers n'existent pas normalement dans la roche volcanique (fig. 15).

Enfin, dans cette dernière apparaissent, *au contact de l'enclave seulement*, de grands cristaux d'hypersthène.

Ces divers fragments anciens sont cimentés par les microlites de l'andésite. Les éléments qui résistent à la résorption (sillimanite et andalousite), sont fréquemment entraînés au loin dans le magma volcanique.

Je dois à l'obligeance de M. Rames une petite enclave du même gisement; elle est extrêmement riche en cordiérite, andalousite rose très pléochroïque, grenat almandin, sillimanite (fibrolite) : le feldspath ancien est très altéré et, dans certaines parties de la roche, les minéraux autres que le feldspath ont seuls subsisté; ils sont entourés par du verre jaunâtre et sont criblés d'inclusions de spinelle vert : les recristallisations de feldspaths sont à peine indiquées. Cet échantillon est un de ceux qui montrent le mieux l'origine ancienne de l'andalousite, de la cordiérite, etc.

Menet. — Les *trachytes à anorthose* de Menet, près Riom-ès-Montagne, renferment en grande quantité des

enclaves de gneiss et des roches granulitiques[1] sur lesquelles ils reposent. On y rencontre aussi des sanidinites qui seront décrites dans la seconde partie de ce mémoire.

Les enclaves quartzofeldspathiques modifiées appartiennent à deux types : *a*) *pegmatites*; *b*) *gneiss*. Elles sont surtout abondantes dans les deux carrières de Lieucamp et de Menoyre. Celles des tufs du hameau de Brocq sont peu ou pas modifiées.

a) *pegmatite*. J'ai recueilli une enclave de pegmatite ayant environ 15^{cm} de diamètre. Elle est constituée par un mélange d'orthose, de quartz et d'un peu de sillimanite. Le quartz est violacé, l'orthose blanc jaunâtre. L'enclave est étonnée, très fragile. Le quartz a perdu ses inclusions à bulles mobiles; il est riche en inclusions gazeuses. L'orthose forme des cristaux maclés suivant la loi de Carlsbad et atteignant 3^{cm}. Ce minéral, examiné en lames minces, se montre rempli d'une quantité prodigieuse d'inclusions gazeuses, tantôt globulaires, tantôt allongées en masses ovoïdes ou capricieusement contournées. Dans les lames p (001) et g^1 (010), il semble qu'il y ait une tendance pour les inclusions à se disposer suivant p (001), g^1 (010) et h^1 (100). Cependant, ces files d'inclusions sont rarement rectilignes et ne suivent qu'approximativement les directions cristallographiques citées plus haut. L'extinction dans p (001) se fait à 0° et dans g^1 (010) à + 7 de l'arête pg^1. Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1 (010).

L'échantillon que j'ai examiné était peu modifié. On n'y distinguait qu'une recristallisation de l'orthose sur les bords des grands cristaux. Il est cependant intéressant d'étudier en détail la marche de cette nouvelle cristallisation, car elle servira à interpréter des faits que nous

1. A. Lacroix, *Bull. Carte géol. de la France, op. cit., et C. Rendus*, CXI, 1003, 1890.

observerons dans des roches ayant presque entièrement perdu leur cachet d'origine.

Lorsqu'on examine une lame *p* (001) de l'orthose en voie de transformation, on constate que les bords de la plage sont formés par une zone de feldspath présentant la structure en trémies. Si l'on éteint le cristal central, on

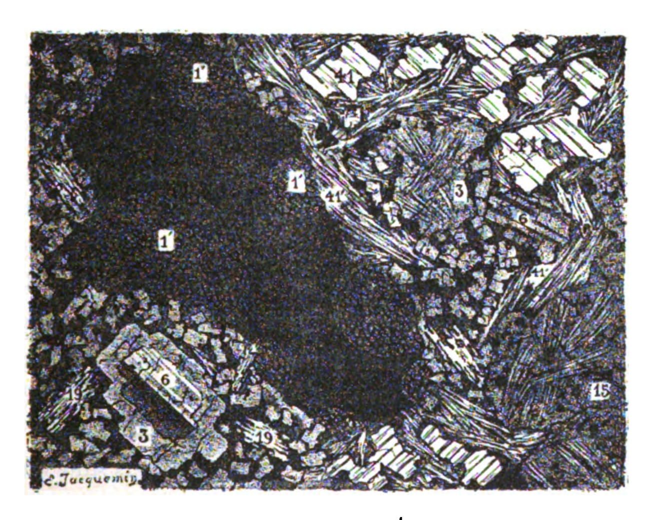


Fig. 16. — Enclave de gneiss dans le trachyte de Menet. — Eléments anciens du gneiss : 6 oligoclase, 15 cordiérite, 19 biotite, 41 andalousite, 41' sillimanite. Ces minéraux sont accompagnés d'orthose récente 3, parfois géométriquement orientée sur l'oligoclase ancienne (à gauche, en bas de la figure), et enfin de tridymite 1'.

voit une partie seulement de la bordure s'éteindre, laissant apparaître de petits cristaux feldspathiques à contours souvent rectangulaires et possédant une orientation optique différente de celle de la plage centrale (Pl. V, fig. 2, A). En A^1 de la même figure, au contraire, le feldspath récent est éteint.

Quelquefois le feldspath de nouvelle génération possède exactement la même orientation que le feldspath ancien. La distinction de ces deux feldspaths devient alors impos-

sible en lumière polarisée ; mais, si l'on examine la préparation en lumière naturelle et de préférence avec l'éclairage d'une lampe, en baissant le condenseur et, si l'on a soin de mettre alternativement au point la partie supérieure, puis la partie inférieure de la lame mince, on voit alors le feldspath de nouvelle génération apparaître en relief sur le feldspath ancien. Cela tient à ce que le feldspath de nouvelle génération est constitué par de l'orthose sodique, ayant un indice médian un peu supérieur à celui de l'orthose ancienne. On constate alors qu'il n'y a aucune solution de continuité entre la plage d'orthose ancienne et les créneaux que ce minéral forme dans l'orthose récente, tandis qu'il est séparé de cette dernière par une ligne de démarcation très nette.

La haute température à laquelle a été soumise l'enclave a fait sur les bords ouvrir largement les clivages du feldspath et a livré ainsi passage aux éléments dissolvants qui, rongeant le feldspath suivant des plans ayant la même orientation cristallographique, ont donné naissance à des sortes de vastes cristaux négatifs dans lesquels sont venus se déposer des feldspaths de nouvelle génération ; dans le cas particulier qui nous occupe, ces derniers ont une composition chimique très voisine de celle du feldspath primitif.

En bas de la fig. 2 de la pl. V, on voit une plage d'orthose B, traversée par une veine d'orthose grenue, mélangée de pyroxène microlitique. Nous retrouverons fréquemment ce genre de recristallisation dans les enclaves gneissiques.

La tridymite se produit en outre très fréquemment.

Enfin signalons en terminant une enclave de granulite très fortement fondue, dans laquelle le feldspath recristallise sous forme de très larges sphérolites, légèrement jau-

nâtres en lumière naturelle et diffusant la lumière à la manière des sphérolites pétrosiliceux. Ils sont négatifs en long et se produisent souvent autour de débris anciens de l'enclave (Pl. IV, fig. 12).

b) *gneiss*. Les enclaves de gneiss ont conservé leur forme. Elles sont creusées de cavités que tapissent des minéraux récents : tridymite, orthose, augite et très rarement hypersthène et quartz. Il est à remarquer à ce propos qu'au Capucin, c'est de l'hypersthène qui se produit toujours dans ces conditions et que l'augite y est absente.

Le gneiss normal de cette région est souvent riche en cordiérite, andalousite, sillimanite, grenat, apatite. Fréquemment, on rencontre des échantillons dans lesquels le quartz est rare.

D'une façon générale, les inclusions gazeuses et vitreuses sont abondantes dans le quartz et les feldspaths enclavés. Dans quelques échantillons en apparence peu altérés, le quartz est entouré d'une zone vitreuse dans laquelle on distingue de la tridymite; le feldspath est recristallisé (fig. 16).

Les modifications peuvent se diviser en quatre modes principaux :

1° L'enclave se disloque et fuse dans le trachyte; celui-ci étant normalement très acide, sa composition ne change pas au contact Il s'y développe cependant un peu d'œgyrine ou d'augite verte.

2° Les feldspaths anciens sont en partie redissous et remplacés par de l'orthose sodique; l'enclave conserve alors rigoureusement sa forme et les feldspaths récents ne se distinguent des anciens que par l'absence d'inclusions gazeuses et l'existence de petits cristaux pyroxéniques qui manquent dans les feldspaths anciens.

3° Le feldspath résorbé est remplacé non par de grandes

plages, mais par une mosaïque de petits grains d'orthose. La roche résultante devient très finement grenue. Par places, on observe un peu de verre et le feldspath peut même offrir la forme sphérolitique autour des débris anciens. Il y a aussi formation de petites lamelles de biotite.

4° Enfin le feldspath peut recristalliser sous forme de grands cristaux rectangulaires qui s'enchevêtrent; ils sont accompagnés d'œgyrine ou d'augite et les parties recristallisées simulent tout à fait les sanidinites qui seront étudiées plus loin. On les en distingue toutefois par ce fait, qu'elles ne présentent aucune trace de modification secondaire et que l'on y rencontre souvent des débris anciens. Quand il existe encore du verre, les cristaux ont des formes rectangulaires très nettes.

Dans toutes ces enclaves, le mica est transformé soit en produits ferrugineux, soit en un mélange d'octaèdres de spinelle vert, de cristallites de corindon et enfin de grains d'œgyrine. Dans un échantillon, j'ai en outre observé de la pseudobrookite.

Tous ces divers genres de transformation peuvent se juxtaposer dans un même échantillon.

J'ai rencontré très fréquemment des enclaves microscopiques dans les *andésites* et les *labradorites* du Cantal, recueillies par M. Fouqué; tantôt schisteuses, tantôt massives, elles sont généralement constituées par du feldspath triclinique, englobant de la biotite, des spinelles (verts ou violets), de la magnétite, parfois de l'hypersthène, du zircon, du rutile et de la sillimanite : le feldspath triclinique se présente soit en grandes plages irrégulières, soit en cristaux presque isométriques et alors soulignés par un peu de matière vitreuse brunâtre.

Je citerai comme exemples les *andésites à hornblende*

du Puy-Mary, d'Oursac, de Dreits, de Lombrade et de la carrière de Limagne au N. d'Aurillac, de celle de Comte, au N. O. de la même ville, etc.; les *labradorites* en blocs dans la brèche andésitique de la vallée de la Cère, et notamment celles de Tourci près St-Jacques-des-Blats. Ces enclaves sont parfois miarolitiques et leurs druses remplies par de la calcite ou de l'aragonite. Il n'est pas rare de voir leur contact avec les roches volcaniques formé par des cristaux feldspathiques à formes nettes, engagés par une extrémité dans la pâte de l'andésite qui, au contact seulement, devient riche en hypersthène.

Il est facile de voir que ces petits nodules très cristallisés ne sont autre chose que des enclaves analogues à celles qui viennent d'être décrites. On y trouve du reste parfois des traces d'éléments primordiaux, corindon et spinelle épigénisant l'andalousite (le Croizet, à 3 kil. E. de Thiézac).

Haute-Loire. — Monac. — J'ai trouvé un très grand nombre d'enclaves dans les *trachytes à anorthose* du suc de Monac, près Saint-Julien-Chapteuil. Elles offrent une grande analogie avec celles de Menet; elles sont en effet constituées par des gneiss, des granites et enfin des sanidinites qui seront décrites dans la deuxième partie de ce mémoire.

Gneiss. Les modifications subies par les enclaves de gneiss sont les mêmes qu'à Menet; je n'insisterai que sur les points spéciaux observés dans quelques-unes d'entre elles. Dans un échantillon, l'oligoclase ancienne, piquetée de produits d'altération micacés, et riche en inclusions gazeuses, est en partie fondue. Il s'est développé en abondance de l'orthose récente, non seulement sur les bords, mais en facules dans le minéral ancien. Par places, la fusion de l'enclave a été complète; il s'est produit alors

un verre jaunâtre, renfermant de longs microlites rectangulaires de feldspath et quelques microlites d'œgyrine. Ces parties peu cristallines contrastent avec le trachyte qui est au contraire presque holocristallin.

Une autre enclave est en partie fondue; les feldspaths récents sont rares, mais la roche est remplie de très grands cristaux de biotite à formes cristallitiques très nettes. Ils sont creusés de nombreuses cavités à contours rectangulaires. Le verre qui les englobe est riche en octaèdres de magnétite et en christianite. Plusieurs échantillons renferment de la hornblende vert pâle qui est transformée en biotite et en pyroxène. Ce dernier minéral forme, au milieu de l'amphibole, de grands squelettes à orientation unique, analogues à ceux qui seront décrits plus loin dans les enclaves de péridotites des basaltes.

Enfin, il faut signaler des enclaves imprégnées de biotite en grandes plages dentelées, intimement associées à de l'augite cristallitique. La fraîcheur de la biotite exclut dans la plupart des cas l'hypothèse de la formation du pyroxène par transformation secondaire. Sans nier que dans quelques cas douteux cette explication puisse être satisfaisante, il me semble nécessaire d'admettre que les deux éléments ont cristallisé simultanément. Ces associations de biotite et d'augite rappellent celles de biotite et d'œgyrine (ancienne ptérolite) qui épigénisent la barkevicite des syénites néphéliniques du Langesundfjörd. Cette biotite dentelée rappelle aussi celle que M. Michel Lévy a observée dans les pegmatites granitiques développées au contact des schistes cristallins dans la carrière de l'Ozette, près de Limoges. Les feldspaths de ces enclaves renferment souvent des inclusions à bulle mobile et des inclusions à acide carbonique.

De même qu'à Menet, quelques enclaves sont transfor-

mées en orthose; largement cristallisées, elles offrent de très grandes analogies de structure avec les sanidinites.

Granite. Les enclaves de granite sont souvent modifiées à la façon des gneiss qui viennent d'être décrits. Ce granite est généralement pauvre en mica, aussi les recristallisations que l'on y observe sont-elles exclusivement feldspathiques. Les corrosions rectangulaires des feldspaths sont fréquentes. Quelques échantillons montrent à l'œil nu une apparence scoriacée. La matière bulleuse qui englobe les fragments anciens du granite est constituée par des sphérolites feldspathiques (négatifs), brunâtres en lumière polarisée et rappelant les sphérolites pétrosiliceux. Ils englobent fréquemment de longues baguettes feldspathiques à contours rectangulaires.

Mont-Chanis. — Le *trachyte à hornblende* du Mont-Chanis, voisin du suc de Monac, renferme aussi des enclaves feldspathiques en général très zéolitisées (chabasie, christianite). Elles présentent les mêmes types qu'à Monac : souvent leur recristallisation est complète et il ne reste plus rien de l'enclave primitive. Il en est de même pour des enclaves du trachyte du Mont-Charret (La Prade), dans lesquelles MM. Boule[1] et Gonnard[2] ont trouvé de belles zéolites.

Prusse rhénane. — *Eifel.* Aux environs de Kelberg, des carrières sont ouvertes dans les andésites du Bocksberg, près de Müllenbach, et de Rengersfeld, près Welcherath. Les enclaves en fragments anguleux ou arrondis sont extrêmement abondantes dans ces deux gisements. M. K. Vogelsang a publié récemment[3] sur elles un très intéressant mémoire. Il a signalé notamment la fréquence dans

1. *Op. cit.*
2. *Bull. soc. min.*, XV, 30, 1892.
3. *Zeitschr. d. deutsch. geol. Gesell.*, XLII, 22, 1890.

ces roches de la cordiérite, de l'andalousite, de la sillimanite, du corindon, du rutile, du grenat, etc., qu'il considère comme provenant de roches anciennes, étrangères au magma andésitique. Ces minéraux sont accompagnés de spinelle en partie récent. M. Zirkel ayant bien voulu me communiquer quelques préparations de ces enclaves, je fus frappé de l'analogie qu'elles présentent avec celles des andésites et des trachytes du Plateau Central de la France; aussi suis-je allé en 1891 visiter ces deux gisements d'où j'ai rapporté les échantillons étudiés ici.

Les enclaves du Bocksberg et de Rengersfeld consistent en schistes signalés page 165, en sanidinites qui seront passées en revue dans la seconde partie de ce travail et enfin en schistes feldspathiques qui nous intéressent spécialement pour l'instant.

Comme ces derniers présentent les mêmes particularités dans les deux gisements, je ne les séparerai pas dans cette étude.

Le type le plus commun est noir, schisteux, très micacé. A l'œil nu, on y distingue, par places, de l'andalousite et de la sillimanite.

Au microscope, ces enclaves se montrent généralement composées de feldspath triclinique grenu, en plages variant de $0^{mm}5$ à $0^{mm}01$, de biotite et de magnétite, incluse aussi bien dans le mica que dans le feldspath. Elles sont en général rendues schisteuses ou rubanées par l'orientation du mica. Les différentes zones de la roche se distinguent souvent par l'inégale dimension des feldspaths constituants. La biotite est remarquablement fraîche ; elle est englobée par le feldspath ou l'entoure elle-même. La roche est holocristalline, mais ses feldspaths ne sont pas automorphes. Il n'en est cependant pas toujours ainsi. Souvent en effet, il existe un petit résidu vitreux et chaque

cristal de feldspath possède alors des formes nettes, rectangulaires et raccourcies qui donnent à l'enclave un faciès des plus caractéristiques (Pl. IV, fig. 2 et 6).

La composition minéralogique se complique par l'apparition de l'andalousite pouvant atteindre 2 ou 3^{mm}; elle est soit seule, soit associée à axes parallèles à de grands cristaux de sillimanite (Pl. IV, fig. 10). Ce dernier minéral existe aussi en touffes de fines aiguilles (*fibrolite*).

Les deux silicates d'alumine sont toujours accompagnés de spinelle vert en octaèdres simples ou maclés suivant la loi ordinaire. Ces spinelles pénètrent souvent dans tous leurs interstices, les entourent de toute part (Pl. IV, fig. 2 et 6).

Parfois on voit apparaître au milieu du spinelle, du corindon bleu en gros cristaux p $(10\bar{1}1)$, a^1 (0001), très aplatis suivant la base. Mais ce minéral est surtout abondant quand l'andalousite a complètement disparu. On observe alors (Pl. IV, fig. 2 et 6) de grands squelettes, jalonnés par le spinelle, affectant la forme prismatique de l'andalousite, avec des sections transversales à angles voisins de 90°. Localement, les spinelles disparaissent, et c'est alors, qu'au centre de la pseudomorphose, s'observent de gros cristaux de corindon bleu atteignant parfois 1^{mm} 5 de plus grande dimension. M. K. Vogelsang a insisté sur les inclusions liquides à bulle d'acide carbonique et sur les inclusions vitreuses que présente ce minéral. Le corindon englobe le spinelle; on trouve parfois des cristaux mixtes des deux minéraux. Nous nous trouvons ici en présence de pseudomorphoses analogues à celles que j'ai étudiées plus haut à Fontenille, au Lioran, etc. (fig. 14.)

Le rutile est très abondant en petites aiguilles jaunes, très biréfringentes.

A ces éléments viennent s'adjoindre le zircon, le grenat almandin : la cordiérite parfois domine ou existe seule.

Elle est violette et présente les mêmes particularités de structure et de forme qu'au Capucin. Ses cristaux à formes rectangulaires sont pressés les uns contre les autres (Pl. IV, fig. 1), offrant quelquefois les altérations micacées de la cordiérite des roches anciennes (Pl. IV, fig. 5). Cette cordiérite renferme des inclusions de sillimanite, des inclusions vitreuses et des spinellides. Ses cristaux sont entourés soit par un verre gris jaunâtre, soit par du feldspath triclinique. Dans l'un et dans l'autre, s'observent en grande quantité de petites fibres de sillimanite, du spinelle vert, et souvent de la biotite transformée en hypersthène vert foncé très pléochroïque.

Au contact de ces enclaves, il se développe souvent dans l'andésite de très nombreux cristaux d'hypersthène qui manquent dans l'andésite normale.

Par places enfin, le feldspath, au lieu de cristalliser sous forme de grandes plages ou de cristaux en trémies, constitue des sphérolites à croix noire.

L'interprétation de ces enclaves me paraît facile, si l'on tient compte des faits établis dans les gisements précédents.

J'y vois des restes de roches anciennes (probablement gneiss à cordiérite) en partie transformées par le magma andésitique. Telle est du reste, comme nous l'avons vu, l'opinion de M. K. Vogelsang : pour ce savant, en effet, la totalité des éléments rares sont anciens ; le spinelle seul (et en partie seulement) étant de formation récente.

L'andalousite, la sillimanite, la cordiérite, le zircon et le grenat me semblent les seuls minéraux primaires. Tous les autres me paraissent récents. J'ai fait voir dans les enclaves du Plateau Central comment les cristaux d'andalousite pouvaient se transformer en un mélange de spinelle et de corindon englobés par du feldspath. Au Bocksberg et à Rengersfeld le corindon se trouve exclu-

sivement dans les grands squelettes à forme d'andalousite. Il est, comme nous l'avons vu plus haut, d'autant plus abondant que les restes de l'andalousite sont plus rares; les très grands cristaux ne s'observent que lorsque ce dernier minéral a complètement disparu. Ce corindon est évidemment contemporain du spinelle et du rutile secondaire, puisqu'il les englobe et qu'il est moulé par eux[1].

Je n'ai observé que des traces de feldspaths anciens. Nous avons vu au Capucin les diverses étapes de ces transformations, effectuées lentement et sans que le rubanement initial de l'enclave se soit modifié. Ici, les transformations sont plus intenses, de telle sorte que l'on n'en observe que leur résultat final.

Il existe du reste dans ces gisements des enclaves similaires renfermant du quartz et des quartzites. Ces roches, nettement anciennes, sont en voie de transformation ; on y voit se développer du feldspath et de l'hypersthène au contact avec l'andésite : ce dernier minéral qui n'est pas signalé par M. Vogelsang est assez abondant dans mes échantillons.

Les enclaves contenant beaucoup de cordiérite sont, elles aussi, remarquablement identiques à celles du Capucin. L'abondance de l'hypersthène vert foncé semble indiquer que la roche initiale était riche en biotite. Cet hypersthène possède les propriétés de celui qui se forme au Capucin et au lac de Laach aux dépens du mica noir des enclaves.

L'existence des sphérolites feldspathiques semble aussi indiquer que, dans les enclaves qui les présentent, l'action chimique de l'andésite a été moindre que dans le cas le

1. M. Vogelsang a également observé cet enchevêtrement du corindon et du spinelle et l'a rapproché d'un fait similaire signalé par M. Koch dans des enclaves des *kersantites* de l'Unterharz. (Jahrb. d. königl. preuss. geol. Landesansthalt, 1886, p. 75.)

plus général. Le magma fondu était alors trop acide pour former des cristaux nets de feldspath.

Par la nature de leur feldspath, ces enclaves se rapprochent plus des roches à apparence de kersantites que j'ai décrites au Capucin, que du type le plus abondant dans ce dernier gisement où le feldspath récent est surtout de l'orthose. Ce fait s'explique facilement par la différence de composition du magma volcanique englobant, trachyte à sanidine au Capucin, andésite à labrador dans l'Eifel.

M. Vogelsang a chauffé des gneiss à cordiérite, sillimanite et grenat dans une andésite fondue : il a vu que le pleochroïsme de la cordiérite était avivé ; il se forme dans ce minéral, ainsi que dans le quartz des inclusions vitreuses ; enfin, dans la roche se développent de nombreux octaèdres de spinelle vert. La sillimanite et le grenat sont les deux éléments qui résistent le plus longtemps à l'action du magma fondu.

Siebengebirge. Les *trachytes à sanidine* du Drachenfels, des environs de Margareth Kreuz, du Perlenhardt, etc. et les *andésites à hornblende* de Wolkenburg sont connus depuis longtemps pour leurs enclaves schisteuses[1] qui offrent une grande analogie avec celles de l'Eifel.

M. Pohlig a fait une étude spéciale[2] des enclaves du Perlenhardt et de divers autres gisements de la même région.

J'ai recueilli moi-même les échantillons que j'ai étudiés : les types dominants sont les mêmes que dans l'Eifel, il est inutile d'en refaire une description détaillée. Les enclaves à grands éléments y sont très fréquentes; on

1. V. Dechen, *Siebengebirge*, etc.
2. *Tschermak's, miner. u. petr. Mittheil*, III, 336, 1881, et *Verh. d. nat. Ver. Rheinl. u. Westf.*, XLV, 789.

pourrait souvent, au premier abord, les prendre pour des roches grenues de profondeur. Elles sont anguleuses, leur structure est nettement rubanée. Lorsqu'on examine des sections minces taillées à leur contact avec l'andésite ou le trachyte, on constate que les cristaux feldspathiques de la périphérie de l'enclave ont souvent des formes nettes qui se prolongent dans l'andésite, ce qui montre à l'évidence que la formation de ce feldspath est postérieure à l'englobement de la roche par l'andésite. Du reste, l'existence de la sillimanite, de l'andalousite et de ses pseudomorphoses en spinelle et en cordiérite, l'abondance de petites aiguilles de rutile, minéraux qui ne se trouvent pas habituellement dans les roches volcaniques, appellent immédiatement l'attention et conduisent à admettre les conclusions énoncées au sujet des enclaves de l'Eifel.

Dans quelques échantillons, les feldspaths, au lieu d'être grenus, s'allongent, comme dans les diabases, et cela particulièrement au contact de l'enclave avec la roche volcanique : il existe alors entre les deux une zone à structure intermédiaire, résultant du mélange des deux roches.

Une variété d'enclave assez rare dans les gisements que j'ai visités et que M. Pohlig a, au contraire, rencontrée abondamment au Perlenhardt, est constituée par une roche schisteuse, en grande partie formée par du feldspath finement grenu : la schistosité est déterminée par des grains ferrugineux ou des octaèdres de spinellides, ainsi que par de petites lamelles de biotite qui, toutefois, sont rares dans quelques spécimens. Au milieu du feldspath, s'observent en outre de la cordiérite, de la sillimanite et de l'andalousite. Ces divers minéraux existent seuls ou associés. Les fig. 3 et 7 de la pl. IV représentent respectivement des enclaves de ce type provenant du Drachenfels et des environs de Margareth Kreuz.

La sillimanite constitue des touffes d'aiguilles très fines, enchevêtrées ou disseminées dans l'enclave. L'andalousite forme de longs cristaux, souvent cristallitiques et associés à la sillimanite.

Quant au mica, il se montre sous la forme de petites paillettes, disséminées au milieu des feldspaths ou entourant des octaèdres de spinellides qui épigénisent de grands cristaux de biotite résorbés.

L'andalousite n'est pas disposée toujours parallèlement à la schistosité, ses cristaux sont traversés par des files de grains de magnétite dont ils ne dérangent pas la direction. Notons enfin que le rutile est abondant en fines aiguilles. La structure de cette roche est tout à fait celle des schistes modifiés par le granite ou la granulite.

Il est facile de voir que le feldspath de ces enclaves est récent ; les bords de ses plages sont souvent cerclés de verre ; la biotite est également récente. L'origine des autres minéraux est moins facile à déterminer. La sillimanite se trouvant indistinctement dans la cordiérite et dans l'andalousite, il n'est pas possible de faire de distinction entre l'origine de ces trois minéraux. Tout ce que nous avons vu jusqu'à présent dans les autres gisements plaide en faveur de leur origine ancienne : on ne comprendrait guère comment, dans des enclaves placées côte à côte et par suite soumises aux mêmes actions, l'andalousite pourrait se détruire dans un cas et se former dans un autre.

Tel n'est pas, du reste, l'avis de M. Pohlig qui considère tous les éléments des enclaves du Perlenhardt comme récents. Il fait remarquer que, dans ses échantillons, l'andalousite est plus abondante dans des veines fondues que dans la roche compacte. Je n'ai observé rien de semblable pour ma part dans mes échantillons qui sont remarquablement identiques dans toutes leurs parties.

M. Pohlig voit dans ces enclaves des schistes modifiés par voie hydrothermique, grâce à l'action du trachyte qui les englobe.

Il me semble préférable de les considérer comme des schistes anciens, modifiés par une roche granitique et transformés postérieurement par le trachyte, à la façon des enclaves, qui ont été à plusieurs reprises décrites dans ce mémoire. Je dois avouer toutefois qu'il n'existe, dans ce cas particulier, aucune preuve convaincante, permettant de trancher définitivement la question : mon opinion est basée sur les analogies de ces enclaves avec quelques-unes de celles décrites plus haut et dans lesquelles l'ancienneté de la cordiérite, de l'andalousite, de la sillimanite, et d'autre part, l'origine métamorphique des feldspaths, du spinelle et du corindon me paraissent ne pas pouvoir être mises en doute.

Hongrie et Transylvanie. — Les roches trachytiques de la Transylvanie renferment en grande quantité des enclaves de gneiss, de schistes micacés, ou de minéraux spéciaux (*andalousite*, *sillimanite*, *cordiérite*, *grenat*, etc.) provenant de leur désagrégation.

Divers auteurs les ont signalées déjà et notamment : A. Koch (*trachytes* et *andésites* de l'Arany Berg[1] et de la chaine trachytique du Danube[2]), Sontagh (*andésites* du Comitat de Pohler[3]), Schafarzick[4]. Grâce à l'obligeance de MM. Szabó, Szadecky et Traube, j'ai pu examiner quelques-unes de ces enclaves provenant des *andésites à hypersthène* de Schemnitz (Hongrie) des *trachytes* de l'Arany

1. *Tschermak's miner. u. petr. Mittheil.*, I, 338, 1878 et *math. und phys. Naturwissensch. Ber. Ungarn*, III, 61, 1885.
2. *Zeitschr. d. d. geol. Gesell.*, XXVIII, 318, 1876.
3. *N. Jahrb.* 1887, II, 82.
4. *Földtani Közlöny*, XIV, 447, 1889.

Berg, de la chaîne trachytique du Danube, et des dacites de Kis Sebes (Köröstbal.)

Les modifications subies par ces gneiss enclavés sont tellement semblables à celles qui ont été décrites dans les paragraphes qui précèdent, qu'il me paraît inutile d'y revenir.

Dans les enclaves de *dacites* de Kis Sebes, le feldspath régénéré est accompagné de beaucoup de biotite, souvent en lits, constitués par de petites lamelles empilées. Un peu de quartz secondaire moule parfois le feldspath. L'andalousite, soit intacte, soit transformée en spinelle et corindon, n'y est pas rare.

Dans les *trachytes* de l'Arany Berg, au contraire, la biotite est peu commune; elle est remplacée par une augite jaune d'or très biréfringente, qui forme des lits au milieu du feldspath et qui y est souvent accompagnée de tridymite et de pseudobrookite.

Je rappellerai en passant que ces enclaves sont souvent creusées de cavités de résorption, analogues à celles du Capucin et tapissées de divers minéraux (amphibole, tridymite, etc.) C'est à leur proximité, dans les fissures de l'andésite, que M. A. Koch a découvert en même temps que les minéraux précédents, de la *pseudobrookite* et de l'hypersthène (Szaboïte).

Les mêmes minéraux tapissent des druses nombreuses, creusées dans ces enclaves.

Notons en terminant que dans beaucoup de ces gisements, de même que dans ceux de l'Europe occidentale, les gneiss à cordiérite, andalousite, etc., trouvés en enclaves, ne sont connus en place que fort loin des gisements trachytiques.

Santorin. — M. Fouqué a décrit[1] une remarquable

1. *Santorin et ses éruptions*, Paris, 1878, p. 353.

perlite qu'il a recueillie dans la falaise de Balos à Acrotiri (Santorin). Parmi les échantillons de ce gisement qui n'ont pas été étudiés par mon savant maître, s'en trouve un qui a particulièrement appelé mon attention. Il a la grosseur du poing ; il est formé par une partie noire violacée, entourée par la perlite blanche, différant du type normal de la perlite de Balos par sa richesse en biotite.

Au microscope, on voit que la perlite blanche est constituée en grande partie par un verre incolore, à cassures perlitiques, extrêmement riche en trichites et en cristallites de pyroxène; on remarque en outre de nombreux grands cristaux d'augite, de biotite, et plus rarement d'hypersthène. Ces minéraux se groupent souvent en rosettes.

Quant à la partie noire, elle semble constituer une enclave de gneiss à cordiérite.

Elle est composée surtout de cordiérite, englobée par de l'orthose et du quartz. La cordiérite est d'un beau bleu : elle est identique à celle de Pailloux comme forme et comme pléochroïsme. Elle renferme une quantité prodigieuse d'inclusions de magnétite, d'inclusions vitreuses à bulle ; les macles prismatiques sont fréquentes. Elle est accompagnée d'andalousite rose pâle, pléochroïque et de petites baguettes de sillimanite. Le quartz est riche en inclusions vitreuses et gazeuses. Quant à l'orthose en grandes plages moulant tous les autres éléments, elle est remarquablement limpide et il est probable que, comme au Capucin, elle est de formation récente : elle est le produit de la recristallisation du feldspath primordial de l'enclave. Dans tous les cas, par places, on perçoit les formes nettes de ses contours. En lumière convergente, les sections perpendiculaires à la fois à p (001) et à g^1 (010) montrent une croix noire à peine disloquée avec signe négatif comme dans les

orthoses chauffées. Il existe aussi un peu de biotite primaire, riche en inclusions de magnétite formée à ses dépens.

Qnand on quitte le centre de l'enclave pour se rapprocher de la perlite, on voit l'enclave se disloquer, le feldspath disparaître; seuls, la cordiérite et les silicates d'alumine restent intacts; le quartz fond en partie et forme des cristaux arrondis, creusés de cavités à la façon des quartz anciens des porphyres. Tous ces minéraux sont noyés dans un verre ne présentant pas de cassures perlitiques, mais montrant une fluidalité très nette; on constate que ce verre devait être extrêmement visqueux; il renferme une quantité considérable de corpuscules ferrugineux alors que les cristallites pyroxéniques sont plus rares que dans la perlite normale.

Puis, plus loin, on voit apparaître les grands cristaux indigènes de la perlite qui se mélangent aux débris étrangers en même temps que le verre devient plus fluide, moins riche en produits ferrugineux. Cette zone conduit par étapes insensibles à la roche normale à cassures perlitiques.

J'ai trouvé des enclaves microscopiques de cordiérite (avec inclusions de spinelle), de grenat almandin rose dans une *andésite à hypersthène* de l'éruption de 1866, ces minéraux sont entourés de feldspaths tricliniques et de pyroxènes (augite et hypersthène).

Toutes ces enclaves ont une même origine, ce sont des fragments de gneiss ou de granulite à cordiérite en voie de résorption. Il faut remarquer que des roches de ce genre sont inconnues en place à Santorin. L'étude des enclaves de roches volcaniques nous a du reste habitués aux faits de ce genre.

J'ai également observé une petite enclave assez curieuse

dans un échantillon d'*andésite à hornblende* d'Acrotiri; elle a la forme d'un ellipsoïde aplati dont le grand axe a environ 4 millimètres; elle est constituée par du feldspath triclinique, de la biotite et de l'hypersthène. Elle est grossièrement zonée; la partie centrale est très riche en petites lamelles de biotite qui deviennent plus clairsemées dans la zone suivante; là l'hypersthène domine en très petites baguettes, mélangées à du feldspath qui existe presque seul à la périphérie. Au contact avec l'andésite, on observe de gros cristaux d'hypersthène moulant le feldspath. Ce dernier minéral constitue de petits solides rectangulaires presque également développés dans tous les sens, leur partie centrale est riche en inclusions vitreuses; leurs formes sont très accusées, grâce à l'existence d'un peu de matière vitreuse.

La structure régulièrement concentrique de cette enclave et tout dans sa manière d'être indiquent qu'elle s'est formée sur place et, selon toute vraisemblance, au moment de la consolidation de la roche qui l'englobe. Son feldspath est beaucoup plus basique que celui de l'andésite; celle-ci ne contient ni hypersthène, ni mica. De plus, la structure des feldspaths rappelle tout à fait celle que j'ai déjà décrite dans les enclaves quartzofeldspathiques de plusieurs gisements; aussi me semble-t-il probable que nous nous trouvons ici en présence d'un fragment de roche ancienne, entièrement transformée. On a vu plus haut qu'il n'est pas rare de trouver dans des andésites du Plateau Central de la France de petits nodules analogues à ceux qui viennent d'être décrits.

Iles éoliennes. — *Lipari.* J'ai trouvé[1] des enclaves microscopiques dans une *andésite hypersthénique* très

1. *Bull. Carte géol. de la France*, II, 55, 1890.

vitreuse de Lipari, recueillie autrefois par M. Fouqué. Cette roche présente une assez grande analogie de composition avec celles du Cap de Gates. Les microlites d'hypersthène y sont très abondants. Les cristaux du stade intratellurique sont constitués par de l'apatite, de l'hypersthène, de l'augite et de l'andésine, riche en inclusions de verre brun (le verre de la roche est incolore). Les bisilicates sont souvent comme vermiculés à leur périphérie, rappelant ce qui se produit dans les nodules à olivine en voie de fusion.

Les enclaves consistent en cristaux de cordiérite, en grains de grenat rose pâle, en andalousite et sillimanite.

La cordiérite présente les mêmes formes qu'au Capucin; tantôt les cristaux sont isolés, tantôt ils sont groupés en grand nombre à axes parallèles; les macles prismatiques sont fréquentes. Ils sont localement riches en spinelle vert, en inclusions vitreuses.

Le grenat est arrondi; dans ses fentes se forment de fins microlites d'hypersthène.

L'andalousite, intimement groupée avec de grands cristaux de sillimanite, est, par places, creusée de cavités que remplissent la cordiérite et un peu de quartz. Les silicates d'alumine sont entourés par des grappes de spinelle vert secondaire.

Toscane. — Aux environs de Campiglia Marittima, à San Vincenzo, se trouvent des *rhyolites à cordiérite* qui ont depuis longtemps appelé l'attention de divers savants. Vom Rath[1] a fait remarquer que la cordiérite s'y trouve souvent en agrégats grenus, semblant constituer des

1. V. Rath, Geogn. Min. Fragm. aus Italien II Theil. *Zeitschr. d. d. geol. Gesell.* XX, 327, 1868. Voir aussi d'Achiardi, *Att. dell. Soc. Tosc.* di Sc. nat. VII, fasc. 1, 1885, ainsi que les travaux de Vogelsang, Lotti, etc.

enclaves. (Val delle Rochette). M. Dalmer y a recueilli[1] aussi des agrégats grenus de grenat, d'augite et de feldspath triclinique.

Le quartz y est abondant, ainsi que la cordiérite en cristaux distincts, offrant les macles en roue; la sillimanite, le spinelle vert et le grenat s'y rencontrent aussi. Peut-être, faut-il considérer tous ces minéraux comme des débris d'enclaves imparfaitement résorbées. Dans un des échantillons que j'ai recueillis en 1887 j'ai observé, en outre, un fragment d'orthose en voie de résorption offrant les divisions rectangulaires si fréquentes dans les feldspaths placés dans de semblables conditions.

La roche volcanique est très vitreuse, riche en cristallites et en microlites d'hypersthène, en grands cristaux de biotite, d'andésine, d'augite, d'hypersthène. Elle offre une certaine analogie avec la perlite de Santorin décrite plus haut. M. Dalmer signale dans ces roches, après Vogelsang, une scapolite que je n'ai pu y trouver.

M^te Amiata. — L'existence d'enclaves schisteuses, riches en graphite, a été signalée par tous ceux qui ont étudié les *trachytes* du M^te Amiata et notamment par MM. Lotti[2], F. Williams[3] et C. de Stefani[4]. Je ne crois pas qu'aucune étude minéralogique en ait été faite.

Je dois les échantillons que j'ai étudiés à MM. Chaper, Lotti et de Stefani. Ils proviennent de points divers de la région et notamment des environs de Pian Castagnajo, de Bagnolo, des ravins de la Senna, de Santa Fiora, d'Arcidosso, de Castel del Piano, enfin des pentes et du sommet du M^te Amiata.

1. *Neues Jahrb.* Bd, II, 1887, 206.
2. *Boll. del R. Comit. geol. d'Italia*, IX, 1878.
3. *N. Jahrb. Beil. Bd.*, V, 381, 1887.
4. *Boll. Soc. geol. italian.*, X, 472, 1892.

Toutes ces enclaves sont feldspathiques et riches en graphite. Elles renferment de la *cordiérite*, accompagnée dans quelques-unes d'entre elles de *sillimanite*, d'*andalousite*, de *disthène* et de *grenat*.

Elles sont toutes plus ou moins riches en spinelle et en biotite. Elles peuvent être rapportées à deux types.

L'un est formé par des roches à grands éléments d'orthose, souvent maclée suivant la loi de Carlsbad, accompagnée de biotite (englobée par le feldspath ou le moulant), de spinelle vert foncé ou violet, et de graphite. Il existe souvent en outre des cristaux automorphes de feldspath triclinique et de l'hypersthène postérieur aux feldspaths. Assez rarement la roche est miarolitique, les vides sont remplis par un peu de verre contenant des microlites filiformes de feldspaths orientés sur les cristaux qui font saillie dans les cavités.

Quand les grandes plages d'orthose diminuent, la proportion en feldspath triclinique au contraire augmente et l'on est ainsi conduit au deuxième type, plus ou moins finement grenu. Quelques variétés sont presque entièrement constituées par de petits cristaux parallélipipédiques de feldspath triclinique, moulés par du graphite et de la biotite ou par du verre.

Ces deux types pétrographiques peuvent coexister dans un même échantillon : on y reconnaît les deux variétés de roches que nous avons rencontrées dans de semblables conditions dans le Plateau Central de la France.

Quelques échantillons renferment de grands cristaux de *cordiérite* disposés par lits alternant avec des lits feldspathiques, de grands cristaux de *grenat almandin* (Poggio Pinzi, au N. de Bagnore), d'*andalousite*, de *sillimanite* ou de *disthène* (Torre gialla près Castel del Piano). Les cristaux de ces trois derniers minéraux présentent parfois

plusieurs millimètres de longueur. Je dois à l'obligeance de M. de Stefani, deux échantillons provenant de Castel del Piano dans lesquels la sillimanite constitue des cristaux atteignant 2^{cm} de longueur sur 0^{m} 5 de largeur.

Les cristaux de ces trois silicates d'alumine se transforment très fréquemment à leur périphérie en spinelle, généralement accompagné de feldspaths, finement grenus. Enfin, dans quelques échantillons, la transformation est complète et il ne reste plus que le moule du minéral ancien, rempli soit par un verre jaunâtre, riche en octaèdres de spinelle vert, soit par un mélange très finement cristallin de spinelle et de feldspath. Le grenat se trouve parfois décapé, comme au Capucin, en grains arrondis au milieu de petites géodes tapissées de lamelles de graphite et de cristaux d'orthose récente, colorés en noir par ce dernier minéral.

Il y a lieu de citer en terminant deux échantillons différant de ces divers types. L'un est extrêmement riche en cordiérite et en andalousite cristallitique, englobés dans de petites plages irrégulières d'orthose ; il rappelle le type du Siebengebirge représenté par les fig. 3 et 7 de la pl. IV.

L'autre est constitué par des cristaux prismatiques de cordiérite, présentant les macles habituelles et atteignant 0^{mm} 5 de longueur ; ils ont souvent un centre graphiteux et sont distribués sans ordre dans du graphite ; le fond de la roche est feldspathique et contient des aiguilles de rutile, accompagnées de cristaux excessivement petits de spinelle.

Dans toutes ces enclaves, la cordiérite se distingue souvent en lumière naturelle, car elle fixe sur sa périphérie un léger pigment ferrugineux.

Bien que je n'aie pu trouver les passages entre ces enclaves très modifiées et les deux échantillons qui ont été décrits page 167, je n'hésite pas à leur attribuer une

même origine ancienne. La cordiérite que l'on observe parfois dans ces enclaves, noyée dans un peu de verre, est souvent brisée ou présente des formes étrangement contournées qui s'expliquent facilement, si l'on observe les quartzites auxquels il vient d'être fait allusion et dans lesquels la cordiérite moule des grains de quartz aux formes irrégulières. Il en est de même pour le grenat qui est fréquemment fondu.

Quant aux pseudomorphoses d'andalousite et de sillimanite, les exemples signalés déjà dans d'autres gisements nous les expliquent suffisamment. Ici, il est curieux de constater que la sillimanite forme des cristaux dont la taille est rarement atteinte dans les gisements où ce minéral est connu en place. Il n'est pas très étonnant de voir le disthène modifié de la même façon que les deux autres silicates d'alumine, puisque dans les roches anciennes, il s'altère d'une manière identique, donnant ainsi naissance aux mêmes produits micacés.

Monts Euganéens. — Dans un voyage que j'ai fait en mars 1893, aux Monts Euganéens, j'ai recueilli de nombreuses enclaves dans la première carrière de *trachyte à biotite* que l'on trouve à gauche de la route allant de Padoue à Teolo, non loin du hameau de Monterosso.

Je tiens à remercier ici M. le professeur Omboni qui m'a fourni de très utiles indications pour l'étude de cette intéressante région volcanique.

Ces enclaves présentent l'analogie la plus frappante avec celles du Cantal, de l'Eifel et du Siebengebirge. On peut les diviser en deux catégories, passant du reste de l'une à l'autre.

La première constitue une roche compacte, d'un noir bleuâtre, parfois rubanée. Au microscope, on constate qu'elle ne contient pour ainsi dire pas trace de mica : elle

est formée de lits, alternativement riches en feldspaths, en *cordiérite* et en *andalousite*.

La cordiérite est bleue et très pléochroïque ; l'andalousite est souvent rose et très pléochroïque ; elle se présente soit en grands cristaux atteignant 3^{mm}, soit en petits agrégats cristallitiques ; ces deux minéraux sont criblés d'inclusions vitreuses avec ou sans bulle, avec ou sans grains de spinelle ; l'andalousite est antérieure à la cordiérite ; elle englobe parfois des grains de corindon bleu. Le feldspath est postérieur à ces deux minéraux et dans les zones feldspathiques, on constate parfois des formes cristallines nettes, grâce à un léger résidu de matière vitreuse, riche en tridymite. Les feldspaths contiennent souvent, comme les deux minéraux précédents, de fines aiguilles de sillimanite, ainsi que des inclusions vitreuses.

Dans quelques échantillons, le feldspath (orthose) n'a pas de formes nettes, mais constitue des plages dentelées et irrégulières ; dans d'autres, il existe une quantité prodigieuse de spinellides, semblant indiquer que la roche primordiale était riche en biotite.

Ces enclaves rappellent beaucoup les dernières enclaves du Siebengebirge auxquelles il vient d'être fait allusion au sujet de l'un des types exceptionnels du M[te] Amiata.

La deuxième catégorie, au contraire, se rapproche davantage du type dominant de l'Eifel. Elle est riche en mica : la roche, souvent schisteuse, a parfois l'apparence d'une kersantite. La grosseur des grains de feldspath varie de $0^{mm}\,5$ à $0^{mm}\,01$, même dans une même préparation mince. La cordiérite est plus rare et l'andalousite est souvent plus ou moins transformée en agrégats de spinelle et de corindon. Ces enclaves sont beaucoup plus feldspathiques que les premières (l'orthose est le feldspath dominant) et fréquemment, elles ne renferment que du feldspath, de la biotite et des spinellides.

Quand ces enclaves sont schisteuses ou rubanées, les diverses zones qui les constituent s'arrêtent brusquement à leur contact avec le trachyte; parfois cependant, l'enclave est séparée de cette dernière roche par une enveloppe continue de spinellides dont l'épaisseur ne dépasse jamais quelques dixièmes de millimètres.

J'ai trouvé des enclaves analogues dans les *trachytes à biotite* de Zovon dont les cavités renferment les énormes cristaux bien connus de tridymite pseudomorphosée en quartz.

C'est à cette même catégorie d'enclaves qu'il y a lieu de rattacher deux échantillons, ayant l'aspect extérieur d'un gneiss très schisteux, que j'ai recueillis dans la grande carrière de *trachyte à biotite*, exploitée dans la ville même de Monselice. La biotite y est très abondante; elle paraît être en partie ancienne; elle est alors criblée d'octaèdres de spinellides : les feldspaths sont constitués par de l'oligoclase et de l'orthose; le feldspath régénéré est exclusivement de l'orthose. La roche est riche en sillimanite formant des lits épais d'aiguilles enchevêtrées (fibrolite) au milieu desquelles se développent des spinelles vert foncé, parfois opaques et souvent creux. Lorsqu'un gros cristal de spinelle prend naissance au milieu d'une touffe de sillimanite, on voit ce cristal entouré d'une zone claire de feldspath. Le corindon bleu et le rutile accompagnent parfois le spinelle.

Andalousie. — Les environs du cap de Gates (Hoyazo) sont célèbres comme gisement de cordiérite et de grenat dans les *andésites à hypersthène*[1]. Je dois à l'obligeance de M. Quiroga quelques échantillons d'enclaves de gneiss

1. Calderon y Arania. *Bol. de la Comision del Mapa Geologica de Espânas*, IX, 1882

à cordiérite recueillis dans les andésites à hypersthène de Bahia de San Pedro près le cap de Gates.

Les gneiss très micacés sont constitués par de la biotite, de la cordiérite maclée, beaucoup de sillimanite, du quartz, du grenat rose en trapézoèdres a^2 (211) très nets et enfin du feldspath triclinique.

Les modifications sont peu intenses ; elles consistent en fusion partielle de la biotite avec formation de spinelle, en développement d'inclusions vitreuses très abondantes (avec grains de magnétite) dans le feldspath et parfois la cordiérite. Ces éléments se retrouvent aussi épars dans l'andésite. M. Osann a étudié les roches de ce gisement[1] et leurs enclaves. D'après lui, l'andésite renferme de grands cristaux d'hypersthène, de biotite, d'augite et de hornblende; ces éléments sont englobés par un verre très abondant renfermant des microlites d'oligoclase et d'hypersthène. Indépendamment des enclaves de cordiérite, de gneiss, etc., signalées plus haut, le même auteur a observé l'existence de microlites de cordiérite, formés dans la pâte de l'andésite et n'ayant pas, par suite, une origine étrangère comme les grands cristaux du même minéral que l'on observe simultanément dans la même roche. Il suppose que ces microlites de cordiérite sont le résultat de la recristallisation des enclaves fondues et mélangées au verre volcanique.

Murcie. — M. Osann a trouvé[2] des enclaves de gneiss à cordiérite dans la *dacite* de Mazarron ; il a rencontré en outre dans les *andésites à biotite* de Rambla del Esparto des enclaves grenues parfois miarolitiques, contenant outre des feldspaths tricliniques et de la biotite, de la cordiérite, de la sillimanite, de l'andalousite, du corindon, du grenat,

1. *Zeitschr. d. d. geol. Gesells.* XL, 694, 1888.
2. *Id.* XLIII, 711 et 717, 1891.

du quartz et de l'apatite. Elles semblent analogues à quelques-unes de celles du Plateau Central de la France.

M. Quiroga a bien voulu me donner des échantillons d'andésite de l'île de Sugestos, près Carthagène. Ce sont des *andésites hypersthéniques* qui renferment en grande quantité des enclaves de quartz en cristaux arrondis, de feldspaths riches en inclusions vitreuses, de grenat et enfin de cordiérite. Les grands cristaux de ce minéral contiennent beaucoup d'inclusions anciennes de sillimanite et d'inclusions vitreuses secondaires. Leurs cavités sont moulées par le verre andésitique et les microlites d'oligoclase viennent fréquemment s'accoler sur leurs côtés. Je n'ai pas constaté dans ces roches de cordiérite de nouvelle formation. M. Quiroga a signalé des enclaves du même genre à Cabezo de Ventura (Carthagène)[1].

Japon. — M. Hussak a décrit en grand détail des enclaves provenant des blocs de projections du volcan *andésitique* d'Asama Yama (Nipon). Elles semblent tout à fait analogues à celles de Santorin que j'ai décrites plus haut. La cordiérite y abonde avec les mêmes formes : elle est remarquable par la netteté de ses macles prismatiques. Elle est accompagnée de grains de quartz corrodés, de feldspaths en voie de dissolution, de petits microlites de rutile. M. Hussak indique comme produit de nouvelle formation de petits cristaux d'augite, d'hypersthène ? et peut-être de quartz[2]. Sans vouloir se prononcer positivement sur l'origine de ces enclaves, M. Hussak incline à considérer la cordiérite comme un produit de cristallisation récente, formé peut être aux dépens de biotite, d'augite et de hornblende. Je n'ai pas là entre les mains d'échantillons provenant de ce gisement.

1. *Act. soc. esp. de Historia naturale*, XX, 63, 1891.
2. *Sitzb. der k. Akad. d. Wissens.* Wien, LXXXVII, 1883.

B. *Trachytes à haüyne.*

Le lac de Laach est connu depuis longtemps pour les nombreux blocs de roches diverses contenus dans ses tufs de *trachyte à haüyne*. Ils ont fait l'objet de nombreux mémoires depuis ceux de von Dechen [1], Laspeyres [2] et Wolf [3].

Les roches qui doivent être traitées dans ce chapitre ont été plus récemment étudiées par M. Dittmar [4]. Pour l'historique de la question et la bibliographie, je renvoie au mémoire de ce savant et à un autre plus récent de M. Bruhns [5], qui a décrit plus particulièrement les sanidinites et sur lequel j'aurai à revenir dans la deuxième partie de ce mémoire.

Des roches granitiques, des gneiss et des micaschistes, doivent nous occuper ici.

Voici les modifications que j'ai observées sur les échantillons que j'ai recueillis en 1891, au cours d'un voyage au lac de Laach.

a) *Roches granitiques.* Mes échantillons consistent en granite et en granulite.

Le type le plus riche en minéraux est une granulite à grands éléments contenant : quartz, orthose, oligoclase, *cordiérite*, grenat, biotite, avec un peu de zircon et d'apatite. La cordiérite est d'un beau bleu et pléochroïque; les autres éléments n'offrent aucune particularité digne d'être notée.

Au contact avec le trachyte, la roche ancienne fond, se disloque et ses éléments sont entourés par un verre bru-

1. *Geogn. Führer zu dem Laacher See*, Bonn, 1864,
2. *Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.*, XVIII, 350, 1866.
3. *Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.*, XIX, 451, 1867.
4. *Verh. d. nat. Ver. Rheinl., u. Westf.* XLIV, 477, 1887.
5. *Verh. d. nat. Ver. Rheinl, u. Westf.*, XLVIII, 282, 1892.

nâtre, dans lequel on observe des cristallites pyroxéniques, du spinelle et des feldspaths en voie de recristallisation sous forme de petits cristaux à formes nettes. Le fait le plus intéressant à signaler consiste dans les produits de la fusion de la biotite. Les enclaves ont été fréquemment soumises à une température inférieure à celle de fusion des feldspaths. Seule la biotite est modifiée et encore incomplètement. On la voit fondre sur les bords, la partie centrale étant ou bien absolument intacte, ou bien chargée d'octaèdres de magnétite. Le produit de la fusion consiste en un verre brun chargé de spinellides. Il se développe en outre, non pas des microlites, mais de très grands cristaux d'hypersthène vert foncé très pléochroïque qui entourent parfois la biotite ou même la remplacent complètement. L'hypersthène se moule sur les éléments anciens de la roche et simule un élément primordial de cette dernière. Dans d'autres cas, ce minéral se présente en microlites presque incolores, mélangés à de la magnétite. Le verre brun renferme en outre une quantité considérable de petites lamelles de biotite recristallisée. Les plages feldspathiques bordant le mica fondu sont extrêmement riches en verre brun ; la partie en contact immédiat avec le mica en est dépourvue et possède des formes propres, dues à une fusion partielle, suivie d'une recristallisation, le feldspath récent s'orientant alors sur le cristal ancien. Dans quelques cas enfin, le feldspath recristallise en cristaux indépendants noyés dans le verre.

b) *Schistes métamorphiques*. Les schistes métamorphiques que j'ai recueillis, si l'on met à part les schistes non feldspathiques dont il a été parlé dans un paragraphe précédent, présentent une assez grande variété. Les uns, un peu feldspathiques, sont constitués par du quartz avec une quantité plus ou moins grande de cordiérite, accom-

pagnée parfois par de la sillimanite et de petits cristaux de tourmaline. Ces trois derniers minéraux sont alignés suivant la schistosité de la roche qui est déterminée par une grande quantité de lamelles de mica noir. La cordiérite se concentre souvent en nodules pauvres en mica ; elle possède des formes nettes ; elle est riche en inclusions de biotite.

D'autres échantillons sont de véritables gneiss, ils renferment de l'andalousite rose très pléochroïque, presque toujours accompagnée de sillimanite et de cordiérite. D'autres enfin contiennent de la staurotide, du disthène et du sphène. Ces divers minéraux ont été déjà signalés par Wolf et par M. Dittmar.

Ces enclaves sont souvent intactes. Dans plusieurs échantillons, englobés par le trachyte, j'ai observé un commencement de fusion sur les bords et le développement de veinules feldspathiques, parallèles à la schistosité de la roche. Il se produit en outre très fréquemment du pyroxène vert clair en petites aiguilles ou en plages, moulant les éléments anciens de l'enclave.

J'ai étudié également trois blocs constitués en grande partie par de la cordiérite bleue. La roche est friable, à grains très fins ; la stratification est assez nette. Dans un de ces échantillons, l'examen microscopique montre les éléments suivants, englobés dans un verre incolore à cassures perlitiques : grenat almandin rose, cordiérite, quartz, orthose, hypersthène et biotite. Cette enclave me paraît provenir de la fusion d'une granulite ou d'un gneiss riche en cordiérite. Les cristaux de cordiérite ont des formes nettes ; ils sont moulés par le quartz et l'orthose que l'on voit fondre dans le verre. L'hypersthène possède la couleur foncée et toutes les propriétés de celui qui, dans les enclaves précédentes, prend naissance aux dépens du mica. Parfois

il présente des formes cristallines distinctes. Quant à la biotite, elle est également de formation métamorphique ; elle englobe par place l'hypersthène.

Le second échantillon ne contient que très peu de verre; il est formé par de l'orthose, de la cordiérite, de la biotite et de l'augite qui moule tous les éléments précédents.

Enfin, dans le troisième, la cordiérite est remplacée par du corindon bleu. L'abondance du quartz ne laisse aucun doute sur l'origine ancienne de cette roche.

Von Lasaulx, en décrivant[1] pour la première fois au lac de Laach les macles de la cordiérite, les a considérées comme développées par l'action de la chaleur dans des cristaux anciens. Pour M. Hussak[2], au contraire, la cordiérite est d'origine récente et M. Dittmar s'est rangé à cette manière de voir pour une partie des échantillons qu'il a étudiés, les autres étant constitués par des gneiss à cordiérite.

M. Bruhns est revenu sur cette question[3] au sujet des roches étudiées par M. Dittmar. Il a notamment décrit des enclaves riches en feldspath triclinique, en grenat et en hornblende. Le grenat contient du verre que von Lasaulx et M. Dittmar ont considéré comme provenant d'une fusion des minéraux du gneiss. M. Bruhns, au contraire, regarde ces inclusions comme primaires, le grenat étant d'origine volcanique.

Un autre échantillon renferme de la cordiérite, de la sanidine, de la biotite et du grenat : la roche est holocristalline. La cordiérite est peu pléochroïque, peu maclée, riche en inclusions vitreuses : le mica est dépourvu de produits d'altération. L'auteur en conclut que la totalité

1. *Zeitsch. f. Krystall.*, VIII, 76, 1883.
2. *Sitzungb. k. k. Akad. Wien*, LXXXVII, 1887.
3. *Op. cit.*, 331.

des éléments de cette enclave est d'origine volcanique : si, dit-il, le feldspath et le mica provenaient d'un gneiss et avaient fondu et recristallisé, le grenat ne serait pas resté intact. Quant à la cordiérite, elle est pyrogène, car elle renferme des inclusions vitreuses, a des contours nets et ne contient pas de sillimanite.

M. Bruhns se demande s'il faut regarder ces enclaves comme des gneiss à cordiérite entièrement fondus et recristallisés ou si elles sont dues à des segrégations du magma trachytique. Il ne se prononce pas entre ces deux hypothèses, mais il semble pencher vers la seconde en décrivant ces enclaves à la suite des sanidinites. Il en est de même pour d'autres enclaves antérieurement étudiées [1] par le même auteur. L'une est riche en sanidine, cordiérite, feldspath triclinique, biotite, grenat almandin, sillimanite, rutile, zircon, spinelle, magnétite et apatite : les feldspaths et la cordiérite renferment des inclusions liquides, la biotite et le grenat ne présentent pas trace de fusion.

Une autre contient de la sanidine, de la biotite, du corindon, du rutile, du zircon et du spinelle, la sanidine et le corindon sont riches en inclusions vitreuses.

Une dernière enfin renferme de la biotite, de la sanidine, de la magnétite et du spinelle en quantité considérable, accompagnés d'un peu de pyrrhite. Aucune trace de fusion n'est visible dans cette enclave.

Il m'est bien difficile de discuter sur des échantillons que je n'ai pas eus entre les mains; toutefois je ferai remarquer que tous ceux que j'ai examinés moi-même peuvent être considérés comme des roches anciennes incomplètement résorbées et dans lesquelles la cordiérite,

1. *Sitzungb. Niederrh. Gesellsch.*, Bonn, XLVII, 30, 1890.

le grenat et l'andalousite sont les seuls éléments anciens, alors que la biotite, les feldspaths, les spinelles sont des minéraux récents : on peut s'expliquer ainsi la fraîcheur de la biotite et les inclusions vitreuses des feldspaths.

J'ai trouvé souvent dans les gneiss enclavés au milieu de trachytes, du grenat d'origine incontestablement ancienne et cependant dépourvu de toute zone fondue (Santorin, cap de Gates, le Capuçin, etc.). D'autre part, les grenats des roches anciennes sont souvent creusés de cavités qui peuvent avoir été remplies postérieurement par du feldspath et des micas récents, sans que pour cela leur origine soit volcanique.

De même, il existe souvent dans les gneiss des cristaux de cordiérite à formes et à macles nettes; et dans ce genre de gisement, ce minéral ne renferme pas toujours d'inclusions de sillimanite, de telle sorte que ni l'automorphisme et les macles des cristaux, ni l'absence d'inclusions de sillimanite ne prouve rien au sujet de l'origine de la cordiérite. Il en est de même des inclusions vitreuses qui sont fréquentes dans les enclaves de cordiérite dont l'origine ancienne ne peut être mise en doute.

Quoi qu'il en soit, les solutions diverses proposées par les savants qui ont étudié ces enclaves montrent que la question est difficile à résoudre, et qu'elle mérite d'appeler l'attention de ceux qui auraient l'occasion de visiter la région du lac de Laach.

C. *Phonolites et leucitophyres.*

Plateau Central de la France. — *Cantal.* Valette. — J'ai trouvé en assez grande abondance dans les *phonolites* de Valette près Riom-ès-Montagne, de petites enclaves schisteuses, riches en biotite.

L'étude microscopique permet d'y déceler comme éléments anciens, de l'oligoclase, de l'orthose et de la biotite, et rarement du quartz.

Les feldspaths sont troubles, profondément corrodés à leur périphérie et creusés en outre de nombreuses cavités,

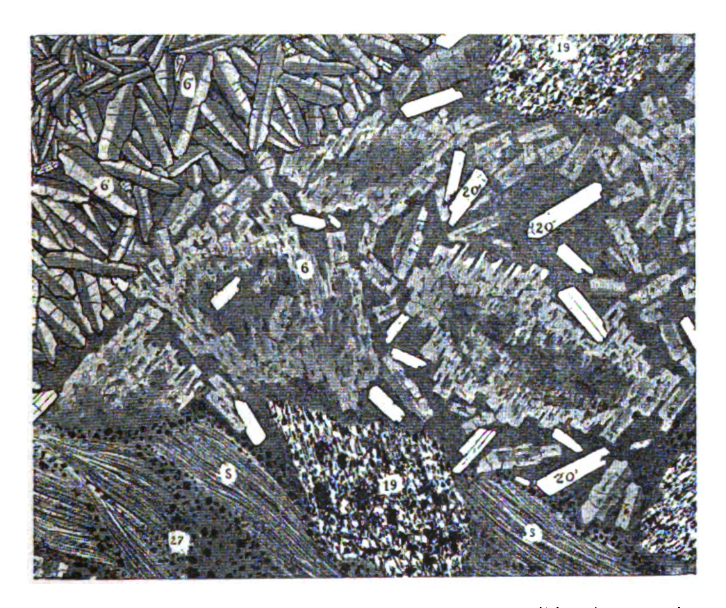


Fig. 17. — Enclave de gneiss dans la phonolite de Valette. S. Sillimanite entourée de spinelle (27). 19 biotite se transformant en spinelle. Au milieu de l'enclave, le feldspath ancien trouble (6) est entouré d'orthose récente à formes nettes, qui, de même que le verre ambiant contient des cristaux d'œgyrine (20); à gauche, en haut, la phonolite est à plus grands éléments au contact de l'enclave.

surtout fréquentes quand le feldspath englobe la biotite. Les phénomènes de corrosion rectangulaire rappellent ceux qui ont été décrits plus haut dans les enclaves des basaltes. Généralement les surfaces corrodées ont été recouvertes par de l'orthose récente que l'on voit aussi se développer en cristaux nets au milieu d'une matière vitreuse ordinairement zéolitisée. Les feldspaths anciens ainsi cicatrisés sont bordés de créneaux cristallins, l'orientation du

feldspath récent est la même que celle de son hôte dont il se distingue par sa limpidité et sa grande pureté. Les feldspaths récents, disséminés dans le verre ont des formes rectangulaires très nettes (fig. 17). Les sections perpendiculaires à p (001) et à g^1 (010) sont rectangulaires ; le minéral est à deux axes presque réunis. En général, comme cela s'observe dans les syénites néphéliniques, le bord de ces orthoses est plus biréfringent que le centre des cristaux. Cela est dû sans doute à une différence dans la teneur en soude des diverses parties d'un même cristal, la région la plus sodique étant la plus biréfringente.

A ces feldspaths récents sont associés de beaux cristaux d'œgyrine vert foncé, très pléochroïques, avec formes nettes m (110), h^1 (100), g^1 (010), $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$). Ils sont généralement abondants là où se rencontrent les zéolites. Il est à remarquer que le même fait s'observe dans les enclaves de syénites néphéliniques, dans les phonolites et aussi dans les syénites néphéliniques anciennes. Notons que l'œgyrine n'existe pas comme élément normal dans la phonolite de Valette.

L'œgyrine est fréquemment englobée dans la bordure récente qui entoure les fragments de feldspaths anciens, ce qui prouve bien son origine récente.

Le verre est parfois très abondant ; les feldspaths récents ont alors des formes très nettes. Dans d'autres cas, le verre est rare et les feldspaths, par leur mélange à l'œgyrine, donnent lieu à une sorte de roche à très gros microlites, entourant les restes des feldspaths anciens.

Généralement, ce verre est complètement zéolitisé, la mésotype sphérolitique, un peu de christianite et d'analcime sont les espèces formées dans ces conditions. Elles constituent souvent plus de la moitié de l'enclave.

Dans plusieurs échantillons, de gros cristaux rectan-

gulaires de zircon semblent en outre être de formation récente.

La biotite subit les mêmes modifications que dans les enclaves des andésites. Elle se transforme en spinelle et magnétite qui conservent généralement la forme du cristal primitif (fig. 17). Souvent aussi la biotite recristallise en partie sous forme de paillettes dentelliformes de couleur pâle.

Dans plusieurs échantillons riches en biotite, l'enclave est traversée par des bandes de sillimanite en fibres entrelacées. Il est difficile de savoir si toute cette sillimanite est primaire. Cela est probable pour une partie au moins de ce minéral qui forme des traînées continues dans la roche. On y observe par places des files d'octaèdres de spinelle, disposées perpendiculairement ou obliquement à la schistosité et qui semblent bien être un produit formé aux dépens de la sillimanite. Il est à remarquer que les spinelles, qui abondent au milieu des fibres de sillimanite, sont de couleur violette, alors que ceux qui épigénisent la biotite sont verts et noirs. Par places, il semble y avoir continuité entre des touffes de sillimanite et des lames de biotite altérée. Dans ce cas, on voit fréquemment apparaître du corindon cristallitique, rappelant celui qui a été décrit dans les enclaves des trachytes.

Enfin, dans un échantillon, j'ai observé au milieu de la phonolite des restes d'enclaves presque entièrement résorbées. La sillimanite y formait sur la biotite de grosses houppes qui semblaient s'etre produites sur place. Elles étaient entourées d'une auréole de grandes baguettes feldspathiques, résultant de la recristallisation du feldspath ancien mélangé à la phonolite.

D'une façon générale, comme cela a souvent lieu pour les andésites, au contact des enclaves, la phonolite est

beaucoup plus cristalline ; les feldspaths affectent la forme de longues baguettes et les éléments rares de la roche viennent se concentrer autour d'eux.

Haute-Loire. Pertuis. — M. Boule m'a remis une enclave qu'il a recueillie dans la *phonolite feldspathique* du Pertuis (Haute-Loire), et qu'il a lui-même décrite[1]. C'est un granite pauvre en quartz et surtout composé d'oligoclase, orthose et biotite.

Les modifications sont peu intenses, la biotite est remplie de petits octaèdres opaques (magnétite et peut-être spinelle). Les feldspaths, surtout au contact de la phonolite, sont attaqués sur les bords et présentent la texture en cassette. Les feldspaths affectant cette forme sont de nouvelle formation; ils sont orientés sur le cristal ancien et renferment en abondance des microlites d'œgyrine et d'augite verte ; par places, les feldspaths anciens sont sillonnés de fissures, cicatrisées par du feldspath récent englobant des microlites d'œgyrine qui jalonnent ces fissures. Le pyroxène se développe aussi aux dépens de la biotite. Près de l'enclave, la phonolite en englobe des débris.

Prusse rhénane. — *Région du lac de Laach*. Le *leucitophyre* de Perlenkopf renferme des enclaves de gneiss ; l'échantillon que j'ai observé présente des modifications tout à fait analogues à celles des enclaves de Niedermendig. Les feldspaths fondus recristallisent en forme de cassettes, de grands microlites, ou au contraire en petites plages confuses. On observe en outre des agglomérations de petits grains d'augite et de spinelle, épigénisant sans doute de la biotite. Le quartz est entouré par une auréole de verre et d'augite

Kaiserstuhl. — La *phonolite* d'Oberschaffhausen

1. *Bull. Carte géol. de France*, n° 28, IV, 162, fig. 6 de la Pl. III, 1892.

contient des enclaves de roches schisteuses ayant l'aspect extérieur de gneiss. Fischer[1] ne voulut pas y voir des roches cristallophylliennes, mais les décrivit comme des ségrégations du magma phonolitique.

M. Hussak[2] a montré qu'elles étaient réellement constituées par des gneiss et a étudié leur composition minéralogique. Les lits micacés sont, d'après lui, riches en biotite, corindon, spinelle vert, rutile, zircon, pyrrhotine. Les lits de couleur claire sont en grande partie constitués par des zéolites avec un peu d'augite verte. M. Hussak les regarde comme représentant de la phonolite injectée dans l'enclave, puis zéolitisée. Les lits micacés sont séparés de la phonolite par une zone d'augite.

Des lames minces, taillées loin du contact de la phonolite, ont montré la composition de gneiss très micacé à grains fins.

M. Graeff a adopté l'origine ancienne de ces enclaves dans son guide des environs de Freiburg[3]. Ce savant et son collègue, M. Böhm, m'ont très aimablement accompagné dans une excursion faite en 1891 dans le Kaiserstuhl et au cours de laquelle a été recueillie une des enclaves que j'ai étudiées. Voici ce que j'ai observé dans

1. *Bericht. Ver. natur. Gesell. Freiburg*, III, 1861 et 1865.
2. *Neues Jahrb.* 1885, II, 78.
3. Steinmann u. Graeff. *Geol. Führer der Umgebung von Freiburg*, 1890, 110. Dans un mémoire publié depuis la rédaction de cette étude, M. Graeff se livre à une intéressante dissertation sur la nature de ces enclaves (*Mitheil. Grossh. Badisch. geol. Landesanstalt*, II, Bd. XIV, 449, 1892). Ses conclusions sont basées sur l'examen des modifications observées dans les enclaves du Rippachthal qui seront étudiées plus loin. M. Graeff attribue à des gneiss à grenat et à sillimanite une enclave recueillie par M. Knopp (*Ber. XXI. Vers. Oberrh. geol. Ver. Oberschaffhausen* 1888) dans un filon de phonolite de Badberg, près Oberbergen, et d'autres provenant de Bischoffingen et considérées comme des trachytes granitoïdes par Fischer (*Ber. Verh. nat. Gesell. Freiburg*, II, 407, 1862) et comme des sanidinites par Nies (*Geogn. Skizze des Kaiserstuhlsgebirges*, *Inaugural Dissertation*, Heidelberg, 1862.)

mes échantillons : Quelques-uns d'entre eux présentent une analogie frappante avec les gneiss entièrement modifiés du Plateau Central de la France. La roche est formée de lits d'orthose, plus ou moins finement grenue, séparés par des lits de biotite. Le feldspath a parfois des formes nettes. Çà et là, on aperçoit des filonnets dans lesquels il s'allonge et dans lesquels apparaissent de l'œgyrine et de la mésotype, qui sont sans doute les témoins de l'injection admise par M. Hussak.

Le plus souvent, une partie notable de l'enclave est transformée en zéolites (principalement mésotype et un peu de thomsonite), qu'accompagnent souvent de l'œgyrine et de la wollastonite. Plus rarement, la roche est formée par une trame de biotite dentelliforme, de sillimanite fibreuse (*fibrolite*), d'octaèdres verts de spinelle et de corindon. Tous ces éléments sont englobés par très peu de feldspaths et beaucoup de zéolites. La plupart de ces minéraux, sinon tous, me paraissent des produits de recristallisation.

Dans plusieurs de ces enclaves, j'ai retrouvé des fragments anciens d'orthose, corrodés à la façon de ceux de Valette. L'analogie des échantillons des deux gisements permet de conclure très raisonnablement à leur identité d'origine, mais il semble qu'à Oberschaffhausen, les transformations soient beaucoup plus intenses.

L'étude d'un grand nombre d'échantillons permettra, sans aucun doute, de retracer pas à pas la marche de ces transformations, comme j'ai pu le faire dans quelques-uns des gisements étudiés dans ce mémoire[1].

La phonolite d'Endhalde, dans le Rippachthal près

1. A la fin du paragraphe consacré dans son travail à ces enclaves d'Oberschaffhausen, M. Graeff annonce qu'il se réserve de revenir ultérieurement sur cette question : il faut espérer qu'elle se trouvera ainsi bientôt résolue.

Eichstetten, renferme également d'abondantes enclaves quartzofeldspathiques parmi lesquelles domine le granite. Elles ont été signalées par M. Graeff et c'est ce savant qui m'a conduit à leur gisement [1].

Ce granite est à grains fins, composé d'orthose, d'oligoclase, de quartz et de mica. Le quartz prend parfois une structure granulitique.

Les échantillons les plus modifiés que j'ai eus entre les mains ne renfermaient plus à l'état intact que le quartz et des fragments de grandes plages de feldspath fendillées et disloquées. Ces dernières semblent fondre dans un magma de cristallisation nouvelle, formé soit de longs microlites d'oligoclase, parfois groupés en sphérolites ou en éventails, soit d'un fouillis de petites plages d'orthose, rappelant la pâte de certains trachytes. Les grands microlites d'oligoclase sont ordinairement accompagnés d'un résidu vitreux qui souligne leurs formes; il s'y développe de l'œgyrine vert foncé; enfin de fines paillettes de biotite sont disséminées au milieu des feldspaths nouveaux. La biotite est épigénisée par du spinelle et de la magnétite. Ces enclaves sont en général plus ou moins imprégnées de calcite.

Un autre échantillon offre un mode de transformation curieux. La roche au premier abord semble peu modifiée. Un examen attentif montre cependant que les feldspaths sont brisés et pénétrés de feldspaths récents; de plus, la périphérie des grandes plages feldspathiques a subi une fusion suivie de recristallisation avec orientation du feldspath récent sur le feldspath ancien. Les lamelles de

1. *Geol. Führer*, *op.* 110, 1890. — Dans le nouveau mémoire cité à la note de la page précédente, M. Graeff décrit ces enclaves dans lesquelles il a trouvé, de la cordiérite en plus des éléments cités ci-dessus : il appelle l'attention sur la transformation du mica en spinelle, magnétite et sillimanite.

biotite récente permettent facilement de retrouver les feldspaths récents. Fréquemment, ceux-ci recristallisent avec la forme en cassette, mais alors la matière vitreuse, régulièrement distribuée entre les clivages, est remplacée par du quartz qui se développe également en fines micropegmatites à l'intérieur des petits rectangles de feldspath. Pour expliquer cette apparence, il faut admettre soit que cette micropegmatite s'est produite directement, soit plus probablement qu'elle est le résultat de la quartzification de la matière vitreuse, englobée par le feldspath.

Quelques exemples de micropegmatites s'observent aussi dans les feldspaths en voie de fusion; le feldspath fond irrégulièrement, laissant des linéaments intacts. La micropegmatite semble se produire par la transformation en quartz du verre et la régularisation de ses contours a lieu, grâce à la cristallisation du même minéral.

Le mica est remplacé par des groupements de sillimanite. Souvent deux ou plusieurs squelettes de sillimanite s'enchevêtrent, soit à 90°, soit sous des angles variables donnant naissance à une sorte de treillis. En tournant la préparation entre les nicols croisés on éteint successivement, les groupes d'aiguilles de sillimanite correspondant à une même orientation.

II. — Enclaves de roches silicatées non quartzifères.

Résumé et conclusions. — De même que les roches basaltoïdes, les roches trachytoïdes renferment parfois des enclaves de roches grenues non quartzifères de composition minéralogique variée : elles n'ont pas généralement de relations génétiques avec la roche volcanique.

Je citerai à cet égard les *diabases* parfois un peu quartzifères, englobées dans les andésites à hypersthène de

Santorin et du Krakatoa. Elles sont fortement frittées et leurs éléments blancs sont criblés de cavités à gaz, résultant de la haute température à laquelle elles ont été soumises pendant l'éruption.

L'ouralitisation du pyroxène, l'abondance de l'épidote et du quartz souvent associé à l'orthose sous forme de micropegmatite, ne laissent pas de doute sur l'origine de ces roches, du reste inconnues en place dans la région où elles ont été recueillies.

Les trachytes d'Aden renferment des roches plus basiques qui doivent sans doute être interprétées de la même façon. La hornblende qu'elles contiennent a été partiellement transformée en augite et magnétite.

Toutes les roches dont il vient d'être question proviennent de tufs de projection, ce qui explique qu'elles n'aient subi aucune modification chimique.

De même encore que les roches basaltoïdes, les roches trachytoïdes englobent souvent des fragments de roches volcaniques antérieures, roches qui peuvent être soit plus basiques, soit plus acides qu'elles.

Ces enclaves de roches volcaniques ont souvent subi des phénomènes de métamorphisme et, à ce titre, nous devons les étudier ici, mais au seul point de vue des transformations qu'elles ont subies [1].

Il eût été possible de multiplier beaucoup les exemples, j'ai cru pouvoir me limiter à l'étude des enclaves de ce genre, provenant des gisements du Plateau Central de la France, enclaves que j'ai plus particulièrement étudiées.

Dans divers points du Mont Dore (le Capucin, Riveaugrand, etc.), se rencontrent dans les *trachytes à biotite* et

1. En effet. au point de vue de leur origine, ces enclaves appartiennent aux *enclaves homœogènes* dont l'étude constitue la deuxième partie de ce mémoire, c'est pourquoi elles ne nous occuperont ici qu'au point de vue de l'histoire du métamorphisme.

hornblende, toute une série d'enclaves de composition minéralogique variée : (*andésites augitiques* à grands éléments, passant à des *diabases*, *andésites augitiques et amphiboliques*, *andésites à hornblende*, *trachyandésites*, *trachytes augitiques à olivine*, etc.) Ces roches étaient souvent originellement bulleuses, souvent aussi, elles ont été postérieurement à leur englobement, creusées de cavités de corrosion dans lesquelles se sont déposés de nombreux minéraux drusiques bien cristallisés (*augite, hypersthène*, *zircon*, *hornblende*, *mica*, *fayalite*, *tridymite*, *oligiste*, *pseudobrookite*, *etc.*)

Il est assez intéressant de constater que dans ces enclaves le pyroxène récent dominant est l'augite, alors que dans les enclaves quartzeuses des mêmes gisements, c'est l'hypersthène qui se présente exclusivement.

La formation de tous ces minéraux doit être attribuée à l'action sur l'enclave de fluides alcalins, emprisonnés avec elle dans la roche volcanique : l'enclave a du reste fourni une partie des éléments nécessaires à cette production d'espèces cristallisées, car on constate que leur nature varie avec la composition minéralogique de l'enclave considérée; c''est ainsi que dans un gisement donné, le même type pétrographique renferme toujours les mêmes minéraux métamorphiques.

Il y a lieu de faire remarquer l'analogie probable du mode de formation de ces minéraux avec celui des produits récents, développés par action de fumerolles dans et autour des blocs de laves anciennes de la Somma amenés au jour par l'éruption du Vésuve de 1872 (voir la note de la page 131).

Parfois, il se produit, en petit dans l'enclave (Riveau grand) ou à son contact avec les roches volcaniques (Roc de Cuzeau), de véritables *sanidinites*, rappelant par leur

composition chimique et leur structure les sanidinites de profondeur qui seront étudiées dans la deuxième partie de ce mémoire. On peut les comparer à celles qui s'observent dans les cavités des blocs calcaires de la Somma (voir plus loin).

Je diviserai les enclaves étudiées dans ce paragraphe en deux groupes :

A. *Roches grenues anciennes.*

B. *Roches volcaniques microlitiques.*

A. *Roches grenues anciennes.*

Santorin. — M. Fouqué [1] a trouvé de nombreux blocs de diabase quartzifère dans les projections andésitiques du revers méridional de Théra (entre le cap Mavro et l'Obélisque), aux alentours du havre de Balos et à la base de la falaise de Thérasia dans l'île de Santorin.

Ce sont des roches anciennes, inconnues en place dans l'île; elles sont accompagnées de diverses roches et entre autres de fragments de schistes micacés identiques à ceux qui, dans la même île, constituent une partie du Grand-Saint-Elie.

Ces diabases sont à gros grains, très frittées, elles se mettent en miettes au choc du marteau. On y trouve de l'apatite, du sphène, de la magnétite; l'augite est en partie ouralitisée par de l'amphibole vert clair, très maclée suivant h^1 (100); de la biotite et un peu d'olivine s'observent en outre dans quelques échantillons. Le feldspath dominant appartient au groupe andésine-labrador. M. Fouqué a trouvé dans quelques échantillons de l'oligoclase et de l'orthose. Le quartz remplit tous les vides de la roche et forme souvent avec les feldspaths de belles micro-

1. *Santorin et ses éruptions.* Paris, 377, 1878.

pegmatites. L'épidote est fréquente dans quelques-uns des fragments que j'ai étudiés.

M. Fouqué a particulièrement examiné les inclusions du quartz et du feldspath ; ce sont des pores à gaz, des inclusions vitreuses à bulles, accompagnées parfois de cristallites de pyroxène.

Aden. — M. Vélain m'a remis quelques fragments de roches basiques qu'il a recueillis dans les tufs trachytiques d'Aden.

Ces enclaves sont constituées par des gabbros à gros grains, très friables. L'examen microscopique y montre du diallage, souvent très riche en fines inclusions ferrugineuses, de la hornblende, quelquefois de l'olivine et de la biotite, enfin des feldspaths tricliniques basiques (anorthite et labrador).

La hornblende brune moule les autres silicates ferrugineux et se trouve aussi en facules dans le diallage, comme cela arrive si souvent dans les diabases et les gabbros. La roche est parfois grenue, mais le plus souvent ophitique; les feldspaths conservent toujours de grandes dimensions.

Dans un échantillon, la hornblende et la biotite sont en voie de résorption et se transforment en un mélange d'augite et de magnétite. Cette modification est due à l'action de la chaleur.

Il ne semble y avoir aucun rapport d'origine entre ces gabbros basiques et les trachytes de la région qui, d'après M. Vélain [1], sont très acides. Il existe bien dans les environs des basaltes, mais ils sont nettement postérieurs aux tufs trachytiques contenant les enclaves en question. Il faut donc probablement considérer ces dernières comme des fragments de roches anciennes arrachées à la profondeur.

1. *Description géologique de la presqu'île d'Aden, de l'île de la Réunion, etc.*, Paris, 1878, p. 38.

La région d'Aden étant encore peu connue au point de vue géologique, il ne m'a pas été possible de savoir s'il existe en place des roches analogues à ces gabbros.

Krakatoa. — Je dois à l'obligeance de M. R. Bréon un échantillon de diabase quartzifère, recueilli par lui dans les *ponces andésitiques* du côté ouest du Krakatoa (éruption de 1883).

Cette enclave est très frittée, fragile ; elle ressemble beaucoup aux roches similaires de Santorin décrites plus haut. Elle est composée d'andésine, d'augite et d'amphibole vert clair, souvent maclée, provenant de l'ouralitisation de ce dernier minéral. Le quartz est assez abondant, remplissant les vides miarolitiques de la roche. On observe aussi un peu d'épidote et de la magnétite.

Le feldspath renferme des grains d'augite, de magnétite et de nombreuses inclusions vitreuses secondaires qui, avec le frittage, sont les seuls témoins de la haute température à laquelle la roche a été soumise.

B. *Roches volcaniques.*

Plateau Central de la France. *Puy de Dôme.* — Mont Dore. — J'ai étudié déjà en détail les enclaves de roches volcaniques des *trachytes* du Mont Dore ; je ne reviendrai ici que sur les phénomènes présentant un caractère général, renvoyant à mon mémoire antérieur [1] pour la description pétrographique des roches englobées et englobantes.

Les deux gisements les plus dignes d'intérêt, à la fois par l'abondance et par la variété des enclaves que l'on y rencontre, sont le rocher du Capucin (voir p. 178) et le

1. A. Lacroix. Sur les enclaves des roches volcaniques du Mont Dore et en particulier sur les enclaves de roches volcaniques. *Bull. Soc. géol.*, *3e série*, XVIII, 845, 1890.

ravin du Riveau Grand; mais on rencontre en outre des enclaves de ce genre un peu partout dans cette région.

Capucin. — Le type dominant parmi ces enclaves est constitué par une *andésite augitique* à hornblende, parfois riche en hypersthène; elle est très cristalline, présente souvent la structure ophitique et tend à passer à la *diabase*. Cette roche n'est pas connue en place dans la région; elle contient elle-même des enclaves quartzifères. Elle est fréquemment creusée de cavités globuleuses de corrosion, que tapissent de nombreux minéraux cristallisés dont quelques-uns ont été signalés déjà par M. Gonnard [1]. Les minéraux récents observés sont : le zircon, l'hypersthène et le pyroxène monoclinique verts, la fayalite, la biotite, la tridymite, l'orthose, la magnétite et l'oligiste. Le mode de formation de ces minéraux est comparable à celui qui a donné naissance à de nombreux minéraux cristallisés dans les fissures des laves du Vésuve ou au milieu de fragments de roches volcaniques anciennes englobées par des laves plus récentes.

Au Vésuve et au Mont Dore, on trouve de nombreux minéraux particuliers à l'un ou l'autre de ces gisements, tandis que d'autres leur sont communs, présentant quelquefois les mêmes formes (*pseudobrookite*, *hornblende*) ou dans d'autres cas des formes différentes (*augite*).

Les cristaux distincts de ces minéraux reposent souvent sur une croûte blanche recouvrant directement le fond des géodes; elle est constituée par de très petits cristaux de tridymite et d'orthose.

L'hypersthène est en général aplati suivant g^1 (010). Les cristaux très minces présentent dans la zone verticale les faces h^1 (100), m (110) et g^1 (010). Les faces de la zone

1. *Ac. Sciences, Belles-Lettres et Arts de Lyon,* XXIV, 1879. — *Bull. Soc. min.* VIII, 310, 1885.

($b^1 b^{1/3} g^{1/2}$) (122), $b^{1/2}$ (111), g^1 (010) dominent dans le pointement, les faces de la zone pg^1 (001) (010) au contraire, sont rares ou absentes. Le pléochroïsme se produit dans les mêmes teintes que pour l'hypersthène décrit plus haut, mais il est moins intense. Cela tient peut-être à ce que les cristaux sont plus minces et ont un aplatissement très grand suivant g^1 (010). Les propriétés optiques n'offrent rien de spécial, mais elles sont suffisantes pour distinguer l'hypersthène du pyroxène monoclinique de même couleur qui l'accompagne constamment et avec lequel on l'a confondu jusqu'à présent. En effet, celui-ci, comme on le verra plus loin, est toujours aplati suivant h^1 (100) et par suite présente dans cette face une extinction parallèle à l'axe vertical comme l'hypersthène; les teintes de pléochroïsme sont à peu près les mêmes dans les deux minéraux, bien que le pyroxène soit beaucoup moins pléochroïque. Mais, en lumière convergente, on constate que la face d'aplatissement de l'hypersthène est parallèle au plan des axes, tandis que la face d'aplatissement du pyroxène est oblique sur un axe optique.

Le pyroxène a, en outre, des formes spéciales. Les faces observées sont g^1 (010), h^1 (100), m (110), p (001), $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$), $e^{1/2}$ (021). La forme des cristaux de pyroxène est plus variée que celle des cristaux d'hypersthène. Ce sont tantôt des lamelles rectangulaires $p\, m\, h^1\, g^1$; tantôt des cristaux à pointements obtus, $m\, h^1\, b^{1/2}$, $m\, h^1\, p\, e^{1/2}$, $m\, h^1\, g^1 p\, e^{1/2}\, b^{1/2}$. Les mesures goniométriques sont impossibles, eu égard à la petitesse des cristaux, mais il est facile en mesurant au microscope les angles plans de la face h^1 (100) de calculer quelles sont les faces qui lui servent de bordure. La macle h^1 (100) est fréquente; les cristaux qui la présentent n'ont pas d'extinction complète sur h^1. L'angle d'extinction dans g^1 (010) est d'environ 45°.

Le zircon forme des aiguilles filiformes suivant l'axe vertical, et présente les faces m (110), h^1 (100), b^1 (112), a_2 (312). Il est d'un rose très pâle. Ses faces sont souvent creusées de profondes cavités. Dans les échantillons que j'ai étudiés, le zircon se trouvait de préférence dans les géodes riches en pyroxène monoclinique.

L'hypersthène et le pyroxène coexistent parfois dans la même géode, mais ils se trouvent fréquemment aussi dans des géodes distinctes.

Indépendamment des échantillons à géodes globuleuses qui viennent d'être décrits, on en trouve plus rarement d'autres qui sont criblés de petites cavités tapissées par les mêmes minéraux. Ces échantillons appartiennent surtout aux enclaves d'andésites ophitiques. La roche est alors extrêmement poreuse, et l'on comprend aisément qu'elle ait absorbé au moment de son englobement une grande quantité de fluides minéralisés qui ont agrandi ses pores et y ont laissé déposer les cristaux dont il est question ici.

Dans un seul échantillon, j'ai trouvé[1] à côté de géodes renfermant les associations minérales signalées plus haut, une grande druse renfermant : magnétite, biotite, *fayalite*, tridymite, orthose, hypersthène (rare).

La *fayalite*, forme de petits cristaux jaunes, plus ou moins recouverts par de l'hématite. Ils sont aplatis suivant p (001); ils présentent en outre les faces g^1 (010), h^1 (100), a^1 (101), $e^{1/2}$ (021), $b^{1/2}$ (111), et offrent toutes les particularités observées par MM. Iddings et Penfield dans le même minéral des lithophyses des rhyolites et des obsidiennes du Yellowstone-Park[2] et de Lipari[3].

1. *Bull. Soc. minér.*, XIV, 10 (1891).
2. Obsidian Cliff, *Yellowstone Park-Seventh Annual Report of the U. S. Geol. Survey*, 271, 1888.
3. *American Journal of Sciences*, XI, 75, 1890.

Il est intéressant de trouver associés, comme dans ces deux derniers gisements, des minéraux de basicité aussi différente.

Riveau Grand. — Les enclaves sont d'une abondance extrême dans le ravin du Riveau Grand; lorsqu'on remonte le lit du petit ruisseau, on trouve dans les blocs éboulés des hauteurs, des milliers de fragments de roches étrangères au trachyte qui les englobe. Ces enclaves sont arrondies comme si elles avaient été fondues superficiellement. Tantôt elles font corps avec le trachyte et ne peuvent en être séparées, tantôt, au contraire, le choc du marteau permet de les isoler et on les obtient alors avec leur surface arrondie. J'ai vu un de ces blocs mesurant 50 ^{cm} environ de diamètre. Leur nature est plus variée qu'au Capucin.

On peut distinguer plusieurs groupes parmi les enclaves du Riveau Grand; il est probable que des recherches plus approfondies sur le terrain permettraient d'y trouver des types plus nombreux encore que ceux que j'ai pu recueillir et étudier. J'ai observé les roches suivantes :

Des andésites à grands microlites d'*andésine* passant à des roches granitoïdes et ne différant en aucun point de celles du Capucin sont peu nombreuses.

Les géodes sont assez rares. Le minéral qui y domine de beaucoup est le pyroxène vert clair ou jaune d'or; il offre les mêmes formes qu'au Capucin. Il faut signaler encore l'hypersthène beaucoup plus rare, la magnétite a^1 (111), l'oligiste en jolis petits cristaux a^1 (0001), p $(10\bar{1}1)$ et l'orthose qui est peu abondante.

Une variété intéressante de ces enclaves est une roche très bulleuse, d'un gris violacé. Les grands cristaux de labrador y sont peu abondants; l'amphibole y est d'un qrun rouge foncé extrêmement pléochroïque, très biréfrin-

gente; le pyroxène devient jaune d'or sur les bords, cette coloration atteint parfois le centre du cristal. Enfin, la roche est imprégnée de produits ferrugineux récents parmi lesquels domine la pseudobrookite à peine translucide en lames minces. Les minéraux drusiques de cette roche sont l'hypersthène et la pseudobrookite; c'est même dans cette roche que se trouvent les meilleurs cristaux de cette dernière espèce minérale. L'hypersthène est d'un vert olive un peu jaunâtre; ses cristaux rappellent ceux des enclaves volcaniques du Capucin, leur couleur est plus jaune, leur pléochroïsme plus intense; ils ne diffèrent que par leur couleur de ceux dont nous parlerons plus loin. Les uns et les autres ont été pour la première fois signalés par M. Gonnard en même temps que la pseudobrookite[1]. Ce savant a fait remarquer leur analogie avec la szaboïte (hypersthène) qui venait d'être découverte par Koch dans les trachytes de l'Aranyer Berg, en Transylvanie ou dans leurs enclaves.

La pseudobrookite forme des cristaux très nets, noirs de fer. M. Œbbeke[2] a décrit les formes suivantes : h^1 (100), g^1 (010), h^3 (210), a^1 (101), a^3 (103), $b^{3/2}$ (113), e^1 (011), ($b^{1/2}$ $b^{1/4}$ $g^{1/3}$) (133) (?), $e_{1/3}$ (123) (?). Les cristaux sont aplatis suivant h^1 (100). Les faces de la zone verticale sont striées parallèlement à l'axe vertical[3].

Dans les plaques minces de la roche, on voit fréquemment sur le bord des géodes des cristaux des minéraux précédents dont une extrémité est engagée dans la roche et dont l'autre fait saillie dans la cavité.

L'hypersthène est incolore en lames minces; il se déve-

1. Gonnard, *Bull. Soc. minér.*, II, 150. — V. Lasaulx, *Zeitschr. f. Kryst.*, III, 293.
2. *Bull. Soc. minér.*, VIII, 56, 1885.
3. Ces cristaux sont également comparables à ceux des laves du Vésuve (éruption de 1872).

loppe plus rarement que la pseudobrookite dans la roche elle-même. Il y est fréquemment accompagné de mica blond pâle. Enfin quelques sections nous ont montré de petits nids de pyroxène allongés suivant h^1 g^1 (100) (010), pressés les uns contre les autres; ils semblent être le produit du remplissage complet d'anciennes cavités de la roche.

Un autre type d'enclave est une trachyandésite noire ou gris noir à longs microlites. Cette roche est très riche en cavités bulleuses que tapissent de longs cristaux de hornblende.

En lames minces, on voit que cette enclave, riche en apatite, renferme des cristaux d'andésine, d'olivine, de pyroxène, d'amphibole brune en partie résorbée. L'apatite est riche en inclusions noires qui, disposées suivant les faces du prisme, donnent aux sections voisines de p (001), l'aspect de la noséane. Le magma microlitique est formé par de longs microlites de feldspath, présentant les uns des angles d'extinction voisins de 0° et les autres de 20°. Il y a en outre du pyroxène et une amphibole récente[1] brun clair à peine colorée en lames minces et peu pléochroïque. Cette amphibole, qui n'est autre que celle des druses, vient parfois mouler l'amphibole brune ancienne, en voie de résorption, ou s'oriente géométriquement sur l'augite ancienne[2]. L'orientation optique de ces deux amphiboles

1. Cette imbibition de l'enclave par des minéraux néogènes pénétrant les minéraux préexistant, s'observe fréquemment dans les roches soumises aux émanations volcaniques. On peut citer à cet égard le développement du grenat dans les laves du Vésuve (éruption de 1822), signalé par M. A. Scacchi. Dans un échantillon que j'ai trouvé récemment au Museum, on voit les parois d'une cavité de la lave leucitique garnies de cristaux de grenat rouge : la roche est jaunie sur près d'un centimètre et criblée de cristaux de grenat, et de petits nids d'augite jaune d'or.

2. Vom Rath a décrit dans les enclaves des laves de l'éruption du Vésuve de 1872, des groupements à axes parallèles d'augite et hornblende, mais dans lesquels les deux minéraux étaient néogènes.

est la même. Mais tandis que dans g^1 (010), l'amphibole ancienne s'éteint presque à 0°, l'amphibole récente s'éteint à 20° environ, de plus sa biréfringence est plus faible. Cette amphibole est souvent accompagnée de mica blond clair. Cette roche rappelle certaines andésites de filons.

Le seul minéral drusique que j'ai observé dans ces enclaves est de la hornblende en longs cristaux grêles quelquefois filiformes et qui ne présentent pas de pointement mesurable; leur couleur est le brun rougeâtre. Elle est identique à la hornblende des laves du Vésuve (éruptions de 1822 et 1830). Les parois des druses sont tapissées d'orthose.

Quelques échantillons de cette roche présentent des cristaux de feldspath atteignant 3 ou 4^{mm}; ils sont en partie frittés et transformés en un mélange miarolitique d'orthose et d'augite.

Une roche rouge brique clair avec grands cristaux de sanidine est fréquente en enclaves à Riveau Grand. C'est un trachyte augitique à pyroxène. Il est imprégné d'hématite et de pseudobrookite. Il correspond à un type connu en place dans la vallée du Mont Dore. Il en diffère par ses minéraux drusiques, par la couleur jaune de son pyroxène et par les minéraux ferrugineux secondaires.

Les cavités, en général allongées, sont tapissées de petits cristaux de *pseudobrookite* et d'*hypersthène* colorés en rouge par un peu d'oligiste. Ce pigment ferrugineux est localisé sur les bords des cristaux ou également réparti à leur surface. Les formes sont les mêmes que celles qui ont été énumérées plus haut. Les cristaux de pseudobrookite décrits par M. Œbbeke provenaient de cette roche.

A son contact avec le trachyte et parfois aussi dans la masse même de l'enclave, on trouve, par places, de petites masses blanches, à apparence scoriacée; elles

sont formées par des débris des grands cristaux de feldspath de la roche, cimentés par un agrégat d'orthose récente avec cristaux nets de tridymite et d'oligiste se développant dans les druses. Au microscope, on constate que la structure de ces agrégats minéraux est holocristalline et rappelle en petit celle des sanidinites.

Une roche de composition voisine de la précédente, bien que d'aspect différent, est également abondante à Riveau Grand. Elle est grise; on y distingue à l'œil nu des baguettes noires d'amphibole et des cristaux blancs de feldspath. De nombreuses soufflures sont tapissées de cristaux de biotite blond clair et de hornblende, c'est un trachyte augitique à olivine.

Les druses sont tapissées d'un enduit d'orthose en cristaux indistincts et d'un peu de tridymite. Deux sortes d'associations minérales s'y rencontrent :

1° Hornblende et biotite.

La hornblende forme des cristaux atteignant 1^{cm}, brun noir, à faces nettes. Ils sont allongés suivant l'axe vertical; M. Œbbeke[1] y a signalé les formes suivantes : m (110), h^3 (210), g^1 (010), h^1 (100), g^2 (130), p (001), $b^{1/2}$ ($\bar{1}$11), $e^{1/2}$ (021), ($d^{1/4}$ $b^{1/2}$ g^1) (131). On observe la macle habituelle suivant h^1 (100).

L'angle d'extinction dans g^1 (010) est d'environ 20°. Comme il a été dit plus haut, cette même amphibole imprègne l'enclave elle-même. Quant à la biotite, elle est de couleur blond clair; elle forme de petites lamelles empilées, parfois postérieures à la hornblende. Examinées sur la face p (001), ces lamelles laissent voir un pléochroïsme net, avec jaune d'or suivant n_g et brun rouge clair suivant n_m. Le plan des axes est parallèle à g^1 (010).

1. *Op. cit.*

2 E = 20° environ $\rho < v$. Les lamelles atteignent parfois 1 ou 2^cm de diamètre.

Les géodes renfermant ces minéraux ont parfois plusieurs centimètres de surface; elles sont irrégulières, les cristaux y sont inégalement distribués, mais en général clairsemés.

2° Pyroxène et sanidine.

Les druses qui renferment ces minéraux sont d'ordinaire plus petites que les précédentes; elles sont encore tapissées de sanidine; le minéral dominant est du pyroxène monoclinique jaune verdâtre, allongé suivant l'axe vertical, mais souvent en outre très aplati suivant h^1 (100). Il présente les formes et les propriétés du pyroxène décrit plus haut dans les enclaves volcaniques du Capucin.

Un même échantillon renferme souvent des cavités indépendantes, contenant ces deux sortes d'association, mais je ne les ai jamais trouvées confondues dans la même géode. On rencontre toutefois de petites cupules légères, formées d'orthose vitreuse et de cristaux transparents de pyroxène achevant de remplir une cavité, tapissée de cristaux de hornblende. Elles sont délicatement déposées sur la hornblende, mais restent toujours indépendantes:

Roc de Cuzeau. — Je terminerai par la description d'une enclave intéressante, provenant du roc de Cuzeau, que m'a remise M. Gonnard. C'est un fragment de *trachyte à biotite et hornblende*. Il est entouré par une enveloppe très cristalline à structure miarolitique dans laquelle, à l'œil nu, on distingue, dans un agrégat de cristaux de feldspath vitreux, des cristaux verts de pyroxène, des octaèdres a^1 (111) de magnétite et quelques jolis cristaux jaunes transparents de sphène, rappelant par leurs formes la séméline du lac de Laach. Tantôt cette enveloppe cristalline est très adhérente avec l'enclave et se fond insensi-

blement avec elle, tantôt, au contraire, elle lui est peu adhérente et alors l'enclave arrondie, comme corrodée, est recouverte d'un enduit de cristaux macroscopiques des minéraux constituant l'enclave elle-même.

Les feldspaths ne présentent pas de cristaux mesurables ; ils sont formés par l'enchevêtrement d'un grand nombre de cristaux p (001), m (110), g^1 (010), a^1 ($\bar{1}01$), en général aplatis suivant g^1 (010). En lames minces, ils se montrent formés par de l'orthose et de l'anorthose existant soit en cristaux distincts, soit associés ; l'anorthose constitue, dans ce dernier cas, des facules dans l'orthose. Les grands cristaux de pyroxène sont légèrement verdâtres en lames minces ; ils sont aplatis suivant h^1 (100) et présentent les formes h^1 (100), m (110), $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$). Ils possèdent les propriétés optiques de l'augite, mais, sur les bords, ils se transforment en œgyrine, qui se distingue facilement de l'augite par son pléochroïsme dans les teintes vert d'herbe foncé, sa forte biréfringence, le signe négatif de son allongement, et ses extinctions presque longitudinales. La magnétite se présente aussi en grands cristaux. Les feldspaths et le pyroxène sont moulés par une petite quantité de microlites rectangulaires d'orthose, associés à des aiguilles d'œgyrine et à de la magnétite. Un peu d'hématite colore par places le feldspath en rouge. (Pl. V, fig. 7.)

Cette roche est donc une sanidinite. Par sa structure et par sa composition, elle est analogue à quelques-uns des types de sanidinite d'origine profonde qui seront décrits dans la deuxième partie de ce mémoire. Elle a été formée sans doute par cristallisation au sein de liquides alcalins, emprisonnés avec l'enclave au moment de l'englobement de celle-ci par le trachyte du Cuzeau. Cette sanidinite peut être comparée au point de vue de son mode de

formation à celles qui se produisent dans les cavités des blocs calcaires de la Somma qui seront étudiées plus loin.

Fontenille. — J'ai recueilli dans les *trachytes* de Fontenille des enclaves d'andésite passant à la diabase, en même temps que les enclaves quartzifères qui ont été étudiées p. 187. Elles présentent les mêmes particularités que celles du Capucin.

Sommet du Puy-de-Dôme. — C'est au même type pétrographique qu'il y a lieu de rapporter une enclave que M. P. Gautier a recueillie dans la *dômite* du sommet du Puy-de-Dôme. Les minéraux drusiques formés sont de l'augite et de l'oligiste.

Puy de Sarcouy. — Il en est de même pour une andésite avec énormes cristaux de hornblende, trouvée au Puy de Sarcouy. Le minéral drusique le plus abondant est de l'hypersthène jaune, parfois recouvert d'un enduit ferrugineux rosâtre et rappelant alors la *Szaboïte* de Riveau Grand.

IV. — Enclaves de calcaires.

A. *Enclaves dans andésites et phonolites.*

Résumé et conclusions. — Je n'ai pu recueillir aucune enclave calcaire dans les roches trachytoïdes du Plateau Central de la France. Les documents étudiés dans ce paragraphe sont constitués, d'une part, par des enclaves dans les *andésites* de Santorin et les *phonolites* du *Kaiserstuhl*, de l'autre, par de très nombreux échantillons provenant des *tufs leucitiques et trachytiques* de divers gisements italiens.

A. *Andésites et phonolites.* — Les calcaires englobés dans les phonolites d'Oberbergen, en Kaiserstuhl, sont

souvent incomplètement silicatisés; ceux de Santorin le sont au contraire entièrement. Les minéraux formés dans ces deux gisements sont la wollastonite, le pyroxène, le grenat; à Santorin, on observe en outre l'anorthite, parfois la humboldtilite et l'apatite. Des phénomènes secondaires ont donné naissance à des zéolites, à de la pectolite, dans les enclaves du Kaiserstuhl; des actions de fumerolles ont produit de l'anhydrite dans celles de Santorin.

Ces modifications sont les mêmes que celles que nous avons signalées dans les enclaves des roches basiques. Elles peuvent s'expliquer par voie de fusion ignée du calcaire au sein de la lave. Dans quelques échantillons de Santorin, le dégagement de l'acide carbonique du calcaire a déterminé dans la lave la formation de géodes, tapissées par de beaux cristaux des minéraux énumérés plus haut, accompagnés parfois de péridot, de sphène, etc.

Assez souvent, le contact de l'enclave et de la roche volcanique est net, grâce à une zone fibreuse de wollastonite. Ce minéral, qui abonde dans la phonolite d'Oberbergen, est peut-être due à une action de contact endomorphe.

A Santorin, l'andésite n'est que peu modifiée et seulement au contact immédiat. Tantôt, il y a passage insensible entre l'enclave et l'andésite; tantôt, il y a seulement une mince zone dans laquelle cette dernière est devenue plus basique.

B. *Tufs trachytiques et leucitiques de l'Italie.* — Les tufs volcaniques de l'Italie centrale et méridionale renferment en grande quantité des fragments de calcaires plus ou moins transformés. Le plus célèbre de ces gisements est celui de la Somma, on peut citer aussi les Champs Phlégréens, les îles de Procida, de Vivara, d'Ischia, le massif de Roccamonfina, dans le Latium les Monts

Albains ainsi que les lacs de Bracciano et de Vico, enfin le lac de Bolsena en Toscane.

L'étude de ces blocs métamorphiques, au point de vue spécial où je me place dans ce mémoire, présente de très nombreuses difficultés. Tout d'abord, ces tufs renferment, toujours associés, des produits *trachytiques* et des produits *leucitiques*, bien que, suivant les gisements, les uns ou les autres prédominent. Comme, d'autre part, les calcaires transformés ont été pour la plupart modifiés antérieurement à l'éruption qui les a amenés au jour, il devient difficile de savoir à quelle roche au juste il faut attribuer leur métamorphisme.

Mes observations, sur les blocs de calcaire que j'ai rencontrés en enclaves dans des bombes volcaniques de la Somma, font voir que cette difficulté n'est pas très grande, les roches trachytiques paraissant agir, sur le calcaire, de la même façon que les roches à leucite[1].

Une difficulté plus grande réside dans la multiplicité et la diversité des produits modifiés, ainsi que dans l'association, dans les mêmes tufs, d'agrégats cristallins ayant une origine différente, avec parfois une composition très voisine. Comme j'ai eu l'occasion de le montrer à plusieurs reprises dans ce mémoire, cette difficulté est commune à toutes les catégories d'enclaves.

Dans tous ces divers gisements, on rencontre des produits modifiés très analogues, parfois même identiques au

1. C'est cette considération, et l'impossibilité dans laquelle je me suis trouvé d'établir une distinction entre les produits résultant de l'action de l'une ou de l'autre de ces catégories de roches, qui m'a fait placer les roches à leucite des tufs italiens avec les roches trachytoïdes, bien que la teneur en silice de beaucoup d'entre elles devrait les faire rentrer dans les roches basaltoïdes. Les roches à leucite, en place dans le Latium et les laves actuelles du Vésuve, ont été étudiées avec les roches basaltoïdes (p. 154), alors que je n'avais pas encore à ma disposition tous les documents étudiés ici.

point de vue minéralogique, mais dans chaque centre volcanique, il existe des particularités spéciales résultant, selon toute vraisemblance, soit de la nature de la roche modifiante et de la composition initiale de la roche modifiée, soit des conditions particulières dans lesquelles se sont effectuées les transformations. C'est ainsi, par exemple, que la haüyne, relativement rare à la Somma, est extrêmement abondante à Bracciano et aux Monts Albains, alors qu'elle manque au lac de Vico.

En présence du grand nombre des types pétrographiques observés, je me contenterai, dans ce résumé, d'énumérer les plus importants.

De même que dans les tufs des roches basaltoïdes, on trouve, dans les tufs qui nous occupent, des calcaires simplement calcinés, fendillés (Somma, Latium), parfois recarbonatés et transformés en calcite ou en hydrodolomite.

Quand le métamorphisme a été plus intense, le calcaire est devenu cristallin et s'est chargé de minéraux qui peuvent être, soit disposés d'une façon quelconque, soit orientés dans des zones plus ou moins régulières. Ces calcaires, imparfaitement transformés, sont parfois très abondants (Somma), et dans d'autres gisements très rares (Latium) ou même absents.

Les minéraux métamorphiques sont variés. C'est rarement de la périclase (Somma, Monts Albains). Le plus souvent, ce sont du mica, des péridots (forstérite ou olivine), et du spinelle (Somma, Bracciano), du pyroxène, de la wollastonite, de l'anorthite (Bracciano), du grenat, de l'idocrase, de la haüyne (Monts Albains et Bracciano), de l'outremer (Monts Albains), des humites (Somma), etc., formant de très nombreuses associations qui seront décrites plus loin.

A la Somma, on rencontre une catégorie spéciale de

calcaires zonés et drusiques, dont on ne trouve que rarement les analogues dans le Latium et à Procida. Ces calcaires, de dimensions variées, sont creusés de cavités, tapissées et parfois même comblées par de nombreux minéraux cristallisés.

Il y a lieu de considérer séparément le contenu des géodes et le calcaire qui les enveloppe (fig. 19). Le plancher des géodes est constitué par une couche de pyroxène manquant souvent, suivie d'une zone de mica, implantée normalement à la paroi, puis d'une bande de calcite, elle-même suivie d'une zone de péridot ou de humite en palissade. Au delà, se succèdent des lits plus ou moins réguliers de péridot ou de humites mélangés de spinelle alternant avec des lits de calcite, puis enfin le reste de la roche est formé des mêmes minéraux distribués sans ordre. Les fig. 20 à 23 donnent une idée de cette disposition zonaire qui peut présenter de nombreuses variétés, mais qui est toujours réglée par la même loi de succession.

Le contenu des géodes offre moins d'uniformité; de grandes variations existent non seulement dans l'arrangement des minéraux constitutifs, mais encore dans leur nature. La plupart des minéraux cristallisés de la Somma proviennent de ces géodes. Le tableau donnè plus loin énumère ces minéraux. Un petit nombre d'entre eux sont calciques (anorthite, wollastonite, méionite, grenat, idocrase, pyroxène, amphibole, etc.), alors que beaucoup d'entre eux sont riches en alcalis (leucite, sanidine, sodalite, néphéline, etc.).

J'ai proposé, pour expliquer la formation de ces calcaires géodiques, la théorie suivante : les calcaires, alors qu'ils étaient encore en place en profondeur, ont été calcinés, fissurés par retrait, puis attaqués par des émanations provenant du magma volcanique voisin, émanations dans

lesquelles les chlorures de magnésium, d'aluminium, de fer, les chlorures, fluorures et silicates alcalins entraînés par la vapeur d'eau, devaient jouer un rôle prépondérant.

Les calcaires, pénétrés par ces émanations, ont été le siège de réactions chimiques entre leurs éléments intégrants et les produits exogènes. Les minéraux formés ont été d'autant plus basiques que le point en voie de transformation était plus éloigné de la surface d'imbibition. Une fois la recristallisation opérée, la paroi des fissures, en présence de l'afflux des produits étrangers, a été entièrement silicatée et l'alumine a pu se combiner à la silice et à la magnésie pour donner naissance à du mica, au lieu de se précipiter sous forme de spinelle, comme au centre du calcaire. Les fissures du calcaire, une fois recouvertes d'un enduit silicaté, ont été protégées contre la corrosion et ont été bientôt recouvertes par des minéraux dont les éléments ont été en grande partie apportés des profondeurs. C'est ainsi que l'on peut expliquer la coexistence, dans ces roches, d'éléments basiques comme le péridot et de nodules acides formés de sanidine, de sodalite. L'existence du chlore dans la sodalite, les inclusions aqueuses avec cristaux de chlorure de sodium, abondantes dans un grand nombre d'éléments de ces calcaires drusiques, la présence du fluor dans les humites, dans la cuspidine et la fluorine, celle du soufre dans la haüyne et l'outremer, m'ont servi d'arguments pour défendre mon hypothèse, qui s'appuie, en outre, sur des expériences synthétiques, effectuées par MM. Daubrée et Friedel, ainsi que sur des observations faites sur les produits métamorphisés par les émanations fluorifères de la Campanie.

Ces calcaires géodiques ont donc été, à mon avis, transformés par voies gazeuse ou aqueuse (probablement combinées), à haute température et en profondeur, c'est-à-

dire ou pression. Il est probable que beaucoup de blocs calcaires non géodiques du même gisement proviennent du démantélement d'assises calcaires, largement modifiées en profondeur par les mêmes actions métamorphiques. Mais un grand nombre de ces calcaires non géodiques, et particulièrement ceux qui sont riches en minéraux calciques ont dû être transformés par voie ignée, bien que la fréquence du mica au milieu d'eux implique, dans l'état actuel de nos connaissances, la nécessité de l'intervention de minéralisateurs tels que les fluorures ou les chlorures alcalins. Cette opinion résulte de l'étude des modifications subies par les fragments calcaires que j'ai observés en enclaves dans des bombes de trachytes et de roches à leucite de la Somma. Les minéraux qui s'y forment sont surtout les espèces calciques énumérées plus haut. Les phénomènes de métamorphisme endomorphe, subis par les roches leucitiques enclavantes, ne peuvent s'expliquer que par un enrichissement en chaux, qui se comprend, étant donné la nature de l'enclave, et en soude, ce qui implique un apport par fumerolles. La leucite est, en effet, transformée en néphéline et parfois en orthose, et il se développe souvent, dans des cavités, de beaux cristaux de minéraux, plus ou moins riches en alcalis, tels que la sarcolite, la humboldtilite, la davyne, la cavolinite, etc. Les roches trachytiques présentent plus rarement des phénomènes endomorphes : dans quelques-unes d'entre elles, on voit se former en abondance de l'idocrase.

Les tufs de tous les gisements qui nous occupent ici, et en particulier ceux de la Somma, renferment des agrégats entièrement silicatés. Les uns sont le résultat de cristallisations profondes sans rapport avec les enclaves calcaires; ils seront décrits en détail dans la 2[e] partie de ce travail. Les autres résultent de la transformation totale de cal-

caire, ou (Somma) constituent le remplissage des druses des calcaires dont j'ai parlé plus haut. La distinction entre ces deux grandes catégories de produits n'est pas toujours aisée à faire.

Les blocs silicatés, résultant de la transformation de calcaires, présentent un nombre considérable de types, suivant la nature de leurs éléments constituants. On rencontre souvent des termes de passage entre eux et des calcaires imparfaitement transformés.

Quelques-uns d'entre eux méritent d'être signalés dans ce résumé, à cause de leur fréquence. C'est ainsi que dans presque tous les gisements, on rencontre des agrégats grenus de pyroxène et d'anorthite (Somma, Procida, Roccamonfina, Bracciano, Vico, etc.), avec ou sans mica. L'anorthite est parfois remplacée par du péridot, de la wollastonite, etc. Les cavités sont souvent tapissées par de beaux cristaux de leurs éléments constituants, ainsi que de spinelle, d'haüyne (Latium, Somma); ils renferment parfois, en outre, du grenat, de la humboldtilite (Somma, etc.), etc. Ces blocs quelquefois sont riches en inclusions vitreuses et paraissent avoir une origine ignée.

D'autres agrégats fréquents sont formés de péridot (forstérite) et de spinelle (Somma, Astroni), de humboldtilite (Astroni, Somma), avec du grenat, de la wollastonite, du pyroxène, de l'anorthite (Procida, Ischia, Bracciano), quelquefois de la méionite (Ischia), et souvent du spinelle (Bracciano, Somma) etc.

Dans quelques gisements, se rencontrent d'énormes bombes de grenat, accompagné de pyroxène (Procida), et d'idocrase (Bracciano, Vico, Bolsena), avec de la wollastonite, de la haüyne (Bracciano).

Enfin il faut citer à la Somma, de nombreux blocs, riches en humites, mica, spinelle, qui sont, à l'évidence,

le résultat de la transformation totale du calcaire par le procédé qui a donné naissance aux blocs zonés.

J'ai désigné sous le nom de blocs mixtes ceux qui résultent de la transformation intégrale de calcaires drusiques et du remplissage complet de leurs cavités. Ces blocs sont constitués par une partie basique, séparée de parties acides par les zones de mica et de pyroxène, dont il a été question plus haut.

Les blocs silicatés, résultant du remplissage des druses, sont abondants à la Somma; ils sont (*sanidinites*) plus ou moins riches en éléments blancs (sanidine, leucite, néphéline, sodalite etc.), et renferment parfois en grande abondance des minéraux colorés tels que le grenat, l'idocrase, l'amphibole, le pyroxène, qui peuvent même remplacer complètement les éléments non colorés. Ces blocs ne se distinguent en rien des agrégats du même genre que l'on trouve adhérents à une paroi calcaire.

Dans les gisements du Latium, se rencontrent des roches analogues, mais beaucoup plus riches en leucite que celles de la Somma, et l'on peut se demander si elles ne constituent pas des cristallisations profondes du magma leucitique, endomorphisées par absorption de fragments calcaires. Cette hypothèse est fort probable pour beaucoup d'entre elles qui sont riches en inclusions vitreuses et qui se présentent toujours associées à de véritables calcaires transformés. Ces phénomènes d'endomorphisme sont, du reste, fréquents dans d'autres gisements, et j'en décrirai plusieurs cas très nets dans le chap. 1er de la 2e partie de ce mémoire.

Dans des sanidinites de Bracciano, j'ai rencontré, à l'inverse de ce qui s'observe à la Somma, des cavités de la roche tapissées de cristaux de grenat, représentant sans doute les restes d'une enclave calcaire.

Santorin. — Les *tufs andésitiques* et les *andésites à hypersthène* du Giorgios (éruption de 1866) renferment de nombreux blocs calcaires dont quelques-uns sont entièrement transformés. M. Fouqué les a déjà partiellement décrits[1], aussi n'aurai-je que quelques détails à ajouter sur des échantillons non examinés par M. Fouqué qui a bien voulu les mettre à ma disposition.

Ces enclaves peuvent être rapportées à trois types. L'un est constitué par des nodules ayant la grosseur du poing; ils sont vacuolaires et formés par l'enchevêtrement de petits cristaux de wollastonite blancs ou jaunâtres, accompagnés de pyroxène fassaïte, de grenat mélanite noir [b^1 (110), a^2 (211)], et plus rarement de lamelles quadratiques à un axe négatif d'un minéral du groupe de la humboldtilite. Ce sont des enclaves calcaires en partie résorbées; les minéraux de nouvelle formation occupent un volume moindre que les roches anciennes et ont pu cristalliser librement en cristaux nets dans les druses.

Le second type est formé au contraire par une roche compacte très dure, jaune verdâtre; quelques échantillons présentent, par places, une texture moins serrée et l'on distingue même çà et là quelques petites géodes. La plupart des échantillons que j'ai étudiés n'atteignaient pas la grosseur du poing.

L'examen microscopique fait voir que ces enclaves sont formées par un mélange de wollastonite, de pyroxène jaune et de grenat. Leur composition minéralogique est donc essentiellement la même que celle du type précédent. Ces divers éléments sont, tantôt mélangés en égale proportion, tantôt concentrés en certains points de la roche.

Le plus fréquemment, on voit apparaître un autre

1. *C. Rendus*, 1875. — *Santorin et ses éruptions*, 206. 1878, et *Bull. Soc. min.*, XIII, 245, 1890.

minéral qui peut devenir dominant, c'est l'anhydrite en petites plages très biréfringentes, moulant tous les autres éléments. Il est probable que l'anhydrite ne résulte pas de la transformation directe du calcaire, mais qu'elle s'est produite par action de fumerolles aux dépens de la calcite ayant échappé à la silicatisation. Le même minéral s'est rencontré dans des géodes et ses formes ont été décrites par Hessenberg qui s'est occupé des minéraux drusiques de ce gisement[1].

Très souvent, le pyroxène et la wollastonite de ces enclaves fixent un pigment jaune citron, plus foncé dans le pyroxène que dans la wollastonite. Cette coloration anormale fait nettement reconnaître ces minéraux au premier aspect en lumière naturelle quand ils sont noyés dans l'anhydrite.

Notons en terminant qu'il existe parfois des débris de quartz, riches en inclusions gazeuses. Ils sont en général bordés par une couronne de wollastonite fibreuse, semblable à celle qui est représentée par la fig. 8 de la Pl. I. (Voir p. 165.)

M. Fouqué m'a remis aussi une bombe de calcaire ayant environ 35^{cm} de plus grande dimension; elle est entourée d'un côté par l'andésite. L'examen d'un très grand nombre de plaques, taillées dans les diverses parties de cet échantillon, montre qu'il possède une composition très hétérogène, déjà perceptible à l'œil nu. La roche, grossièrement rubanée, est formée par de la wollastonite grenue, microcristalline ou fibrolamellaire, mélangée à de très petits grenats d'un jaune foncé; dans d'autres parties, on observe presque exclusivement de la humboldtilite en petits cristaux nets et du grenat ou bien

1. *Miner. Notiz.*, n° 8, 31, 1868.

de l'anorthite et de l'augite verte. La composition varie d'un point à un autre et la roche est parcourue dans tous les sens par des veines plus cristallines qui semblent représenter le remplissage de fissures de retrait. On y trouve de la wollastonite, un pyroxène incolore, présentant un nombre considérable de lamelles hémitropes, plus rarement de l'anorthite, de la humboldtilite, et dans un échantillon, de longs cristaux d'apatite.

Enfin, dans quelques parties de l'enclave, on observe une sorte de structure porphyroïde due au développement de grands cristaux de wollastonite, de pyroxène incolore maclé et de humboldtilite, au milieu d'une pâte finement grenue de wollastonite, de humboldtilite et de grenat. Il existe, surtout dans les parties riches en humboldtilite, un peu de résidu vitreux noirâtre faisant apparaître nettement les contours des divers éléments de la roche qui renferment tous des inclusions vitreuses. On observe aussi parfois un peu de calcite, mais il n'est guère possible de savoir si elle est secondaire ou si, au contraire, elle représente un reste de la roche originelle.

La composition minéralogique de ces enclaves (l'anhydrite de nature secondaire mise à part) est tout à fait identique à celle que présentent les calcaires enclavés dans la plupart des roches volcaniques, aussi leur origine n'est-elle pas douteuse, bien qu'il n'existe plus, d'une façon certaine, de calcaire intact au milieu d'elles. Les calcaires siliceux sont, du reste, connus en place au Grand Saint-Elie, dans l'île de Thera ; ils abondent en blocs non transformés dans les mêmes *tufs andésitiques*.

Il est intéressant d'étudier les phénomènes de métamorphisme endomorphe subis par l'*andésite* au contact de ces enclaves. Dans quelques cas, elle a pénétré dans les fissures de ces dernières et a cristallisé rapidement ; elle est

alors beaucoup plus vitreuse que la roche volcanique normale. Celle-ci est constituée par des microlites d'oligoclase, de grands cristaux de labrador, d'augite, d'hypersthène. Au contact, on voit que les microlites sont plus basiques; ils sont constitués par du labrador. Enfin de nombreux microlites allongés d'augite se développent au contact immédiat de l'andésite et de son enclave; la wollastonite de cette dernière devient souvent fibreuse et s'implante alors normalement à la paroi de jonction qui est toujours nette.

Dans d'autres cas, au contraire, il y a en quelque sorte mélange de l'enclave et de l'andésite. La roche produite est entièrement cristallisée ; les microlites, plus basiques, sont entourés par des grains de pyroxène et de wollastonite jaunes très abondants ; enfin, souvent, l'anhydrite vient remplir l'intervalle de tous les cristaux. Dans plusieurs préparations, j'ai observé la wollastonite fibreuse, entourant les grands cristaux intratelluriques de labrador, leur formant une sorte de gaîne.

Enfin, quelquefois l'andésite à composition normale est séparée de l'enclave par une mince couche, finement grenue, au delà de laquelle l'augite et l'anorthite se présentent en cristaux plus gros; c'est là le passage avec les enclaves un peu différentes qu'il nous reste à étudier.

En effet, les andésites de la même éruption renferment aussi des nodules constituant mon troisième type. Ils ont la forme de solides allongés et arrondis, atteignant parfois 30 ^{cm} de longueur sur 7 à 8 ^{cm} de diamètre. Ils se détachent assez facilement de la roche volcanique. Quand on brise ces blocs, on constate qu'ils sont constitués par une croûte verdâtre compacte d'environ 5 ^{mm}, dans laquelle, à l'œil nu, se distinguent des grains de péridot et un peu de feldspath. L'intérieur de l'enclave est constitué par une géode,

en partie remplie par de beaux cristaux d'anorthite, de pyroxène noir verdâtre, de sphène et d'olivine.

M. Fouqué a analysé ces divers minéraux dont les cristaux ont été mesurés par Hessenberg.

Les échantillons nombreux que j'ai examinés, me paraissent indiquer très nettement que leur origine est identique à celle des calcaires modifiés qui ont été étudiés plus haut[1]. La cavité géodique est probablement due au dégagement d'acide carbonique qui a accompagné la décomposition de l'enclave calcaire.

L'écorce de ces nodules possède la structure grenue; elle est essentiellement formée de grains ou de cristaux allongés, souvent dentelliformes, de pyroxène vert, englobés par de l'anorthite. L'olivine et parfois de l'anorthite se développent en cristaux de plus grande taille. Au contact de l'andésite, on voit le plus souvent apparaître du verre brun qui souligne les formes de grands cristaux d'anorthite, enchevêtrés les uns dans les autres, ainsi que des cristaux de pyroxène, à contours géométriques.

Quant au remplissage des géodes, il est formé par l'enchevêtrement des minéraux énumérés plus haut, parfois accompagnés de sphène, sans trace de matière vitreuse. La structure de ces agrégats cristallins d'anorthite et de pyroxène est miarolitique. Ils sont identiques à ceux de la Somma qui seront étudiés plus loin.

1. Ces blocs à anorthite ont été parfois cités, et à tort, comme exemples de ségrégations basiques, effectuées dans un magma andésitique. Il ne faut pas les confondre avec les laves à anorthite trouvées par M. Fouqué, à l'état d'enclaves, dans la même lave de 1866, et qui sont analogues aux roches qui constituent beaucoup de filons et de coulées soit dans la partie ancienne, soit dans la partie récente de l'archipel de Santorin. Ces enclaves de *laves à anorthite* diffèrent des roches constituant les filons et les coulées par une cristallinité plus grande : les cristaux d'anorthite y atteignent 3 à 5 mm de plus grande dimension, tandis que dans les laves en place, ils ne dépassent guère 0 mm 5. Cette différence de cristallinité tient sans doute à une cristallisation plus lente, effectuée à une certaine distance de la surface.

En brisant un des blocs que m'a donnés M. Fouqué, j'ai trouvé de petites géodes indépendantes, tapissées de jolis cristaux de wollastonite et d'autres dans lesquels la wollastonite accompagne l'anorthite et le pyroxène; ces échantillons établissent ainsi un passage entre ces géodes à anorthite et celles qui ont été décrites en tête de ce paragraphe.

Transylvanie. — Parmi les enclaves des *andésites* de l'Aranyer Berg, découvertes par Koch[1], vom Rath a décrit un agrégat grenu d'anorthite, d'augite, de grenat et de sphène[2] dans les cavités duquel se trouvent de très beaux cristaux d'anorthite, riches en faces. Koch et vom Rath ont insisté sur l'analogie des enclaves de ce genre avec quelques-unes de celles de la Somma et de Santorin; il me semble donc utile de les citer dans ce chapitre, car elles ont sans doute une même origine.

Kaiserstuhl. — H. Fischer a le premier appelé l'attention[3] sur les enclaves calcaires des *phonolites* d'Oberschaffhausen.

Vom Rath a décrit[4] la wollastonite du même gisement; il a montré son analogie avec celle du Vésuve et l'a considérée comme le résultat de la transformation de fragments calcaires.

M. Hussak a étudié[5] des enclaves de marbre, conservées au musée de Freiburg et recueillies par H. Fischer; il a fait voir qu'à leur contact avec la phonolite, se trouvaient de la magnétite, puis une zone zéolitisée, au delà de laquelle se rencontrait du grenat brun ou verdâtre, avec parfois de l'apatite, de la magnétite et des zéolites. L'auteur

1. *Tschermak's miner. u. petr. Mitth.* I, 331, 1878.
2. *Zeitschr. f. Kryst.* V. 23. 1880.
3. *Ber. Verhandl. nat. Gesell. Freiburg*, III, Heft. 2, 3 et 4.
4. *Neues Jahrb.* 1874, 521.
5. *Id.* 1885, II, 78.

les considère comme des segrégations du magma phonolitique. Peut-être sont-ce plutôt des calcaires modifiés.

M. Knop a montré[1] qu'en lames minces, ces grenats avaient souvent un centre brunâtre, alors que leur périphérie était incolore; il a proposé de les désigner sous le nom d'*ornithophthalm*, à cause de leur ressemblance avec des yeux d'oiseaux. Enfin, ces mêmes enclaves calcaires ont été citées par M. Graeff[2], dans son guide des environs de Freiburg; ce savant indique l'existence des grenats qui viennent d'être cités.

Les enclaves que j'ai examinées sont généralement très altérées. A leur contact, tous les éléments blancs de la phonolite sont transformés en mésotype; la roche est riche en wollastonite, formée sans doute par métamorphisme endomorphe. Quant au calcaire, il est devenu très cristallin,

1. *Bericht.* XXI, *Vers. Oberrh. geol. Ver. Oberschaffhausen*, 1888.

2. Dans son nouveau mémoire (*Mitt. der. Grossh. Bad. Geol. Landesanst.* II. XIV, 462, 1892), M. Graeff étudie les enclaves calcaires de ce gisement; quelques-unes d'entre elles proviennent de la collection de l'Université de Freiburg. Dans l'une d'elles, l'auteur signale au milieu de lits pauvres en grenat, un minéral fibreux inconnu. Dans d'autres, M. Graeff a constaté au centre de l'échantillon de la calcite grenue, englobant de la wollastonite qui devient plus abondante près du contact; elle est alors accompagnée de grenat. Ces deux minéraux, associés à une zéolite fibreuse, constituent la zone de contact immédiat (1 centimètre environ) avec la phonolite. Quelques enclaves sans structure régulière sont formées de wollastonite, de grenat et de zéolites; les grenats appartiennent au grossulaire; ils présentent la structure indiquée par Knopp et une faible biréfringence. Ces enclaves semblent identiques à celles que j'ai moi-même étudiées.

D'après M. Graeff, ces enclaves seraient, soit des marnes oligocènes, soit des calcaires jurassiques. Dans le premier cas, grâce à la richesse originelle de l'enclave en quartz et en alumine, la wollastonite et le grenat auraient pu se former facilement. Dans le cas des calcaires, les cristaux de wollastonite disséminés dans la calcite se seraient produits grâce à d'anciens fragments de quartz, alors que la zone modifiée de contact serait le résultat de l'action immédiate du magma phonolitique. Cette explication est plausible, bien que l'existence des grains de quartz dans le calcaire englobé ne soit pas nécessaire pour expliquer la formation de petites quantités de wollastonite au cœur même de l'enclave.

les plages de calcite montrent les macles suivant b^1 ($01\bar{1}2$); il se développe en outre en abondance de la wollastonite en grands cristaux allongés et du grenat. Ce dernier est incolore en lames minces, se différenciant nettement en cela du grenat mélanite brun foncé de la phonolite. Il offre les propriétés optiques du type pyrénéite, difficiles à étudier dans le petit nombre d'échantillons qu'il m'a été donné d'examiner. Parfois il possède la structure zonaire, indiquée par M. Knop. La partie centrale brune des cristaux est isotrope. Il est probable que la périphérie incolore est constituée par du grossulaire et que la partie isotrope plus ferrugineuse est du mélanite.

La wollastonite subit une altération très remarquable en un minéral que je crois pouvoir rapporter à la pectolite. Les propriétés optiques le font très aisément distinguer de la wollastonite. Celle-ci, en effet, bien que monoclinique, s'éteint toujours en long puisqu'elle est allongée suivant ph^1 (001) (100); le signe de la zone ph^1 est tantôt positif, tantôt négatif (le plan des axes optiques étant parallèle à g^1 (010), c'est-à-dire transversal à l'allongement). La biréfringence maximum $n_g - n_p = 0{,}014$ s'observe dans les sections transversales; les sections perpendiculaires à la bissectrice aiguë *négative* font partie de la zone d'allongement et sont très peu biréfringentes en raison du faible écartement des axes optiques.

Le minéral épigénisant s'éteint également suivant son allongement. Le plan des axes optiques est compris dans la zone d'allongement, toujours de signe positif. La bissectrice aiguë *positive* est parallèle à l'allongement. L'angle des axes optiques est un peu plus grand que celui de la wollastonite. La biréfringence maximum est voisine de 0.038. Cette substance possède deux clivages prismatiques, différant peu de 90°, mais dont l'angle n'a pu être mesuré

exactement à cause de leur irrégularité dans les sections perpendiculaires à l'allongement. Le minéral offre une structure fibreuse nette. Il est parfois teinté en jaune et épigénise aussi bien la wollastonite des enclaves que celle de la phonolite. La transformation commence par la périphérie, elle est souvent totale.

Toutes les propriétés de ce minéral, attaquable par les acides, concordent d'une façon satisfaisante avec celles de la pectolite.

Je ne crois pas que l'on ait jamais signalé ce genre de pseudomorphose de la wollastonite, qui s'explique très bien du reste par la composition chimique des deux minéraux.

B. *Enclaves dans les tufs trachytiques et leucitiques de l'Italie méridionale et centrale.*

Somma. — Les tufs de la Somma sont célèbres depuis longtemps par les blocs calcaires et les agrégats minéraux que l'on y rencontre. Depuis l'époque où G. Thomson[1] émit l'opinion que ces roches n'étaient autre chose que des fragments de calcaire des Apennins, modifiés par les roches volcaniques, tous les auteurs qui ont étudié la question du métamorphisme ont cité ce gisement célèbre[2] et montré l'analogie des minéraux que l'on y rencontre avec ceux qui se trouvent, d'une part, dans les calcaires modifiés par des roches éruptives anciennes, et de l'autre, dans les calcaires cristallins, intercalés au milieu des schistes cristallins.

1. G. Thomson. Sur la nature des marbres vomis par le Vésuve et sur l'étendue possible des influences volcaniques (*Bibliothèque britannique*, t. VII, p. 40, 1798).
2. Voir notamment : Daubrée, *Mémoires Savants étrangers*, t. XVII, 1860.

La proximité de Naples, les éruptions fréquentes du Vésuve ont attiré de tout temps, dans les ravins de la Somma, les minéralogistes et les géologues de tous les pays ; aussi n'est-il pas de région mieux connue au point de vue minéralogique ; les travaux publiés sur les minéraux de la Somma sont innombrables. Parmi eux, il y a lieu de faire une place spéciale à ceux de vom Rath [1], de Des Cloizeaux [2] et surtout d'Arch. Scacchi [3], le célèbre historiographe du Vésuve et de ses environs.

Au point de vue spécial qui m'occupe dans ce mémoire, quelques minéraux ont été étudiés au microscope par M. Sorby [4], et plus récemment M. Mierisch [5] a publié sur les bombes cristallines de ce gisement un intéressant travail pétrographique. Les détails minéralogiques donnés par M. Mierisch sont suffisamment complets pour que je croie devoir me dispenser d'une description détaillée des propriétés de la plupart des minéraux que j'ai moi-même observés dans les très nombreux échantillons passés en revue au cours de ce travail. Les limites de mon mémoire me forcent, du reste, à être bref à cet égard.

Notons, enfin, que M. Johnston Lewis [6], bien connu par ses travaux sur le Vésuve, a adressé en 1888, à la *Geological Society of London*, un mémoire sur le même sujet qui n'a, malheureusement, pas encore été publié.

Je me suis attaché surtout à étudier le mécanisme des transformations que présentent les roches modifiées que

1. Pour la liste de ces travaux, voir *Sach-und Orts-Verzeichnis zu den min. u. geol. Arbeiten von vom Rath*. Leipzig, 1893, 180 et 188.

2. *Manuel de minéralogie*. Paris, 1862.

3. M. Scacchi a récemment résumé l'état des connaissances sur les minéraux de la Somma et du Vésuve (*Neues Jahrb.*, 1888, II, 123, et *Att. Ac. Napoli*, 4e s., I, 1889), en distinguant soigneusement ceux qui se rencontrent dans l'un et l'autre gisement.

4. *Quaterly Journ. of. Geol. Soc.*, XIV, 455.

5. *Tschermak's min. u. petr. Mitth.*, VIII, 113, 1886.

6. *Quaterly Journ. of Geol. Soc.* XLIV, n° 176. — Proceedings, p. 94.

nous avons sous les yeux, et à rechercher quelle est la roche modifiante. La question est beaucoup plus complexe qu'elle ne le paraît au premier abord.

L'impression de ce mémoire était déjà très avancée, lorsque je me suis décidé à aller, sur place, compléter mon étude des blocs de la Somma. J'ai dû, à mon retour, modifier complètement ce chapitre, et je crois être arrivé à quelques résultats nouveaux. Je tiens à remercier M. E. Scacchi qui m'a fait très obligeamment les honneurs de la merveilleuse collection du musée de l'Université de Naples, fondée par son père et qu'il continue à accroître avec la même prédilection.

Nous avons vu, p. 154, que les laves actuelles du Vésuve englobent parfois les blocs calcaires. Ces derniers sont généralement peu modifiés. Ceux qui nous occupent ici se rencontrent dans les tufs de la Somma, c'est-à-dire du Vésuve antéhistorique, et dans les terrains de transport, résultant de leur désagrégation. C'est ainsi, par exemple, qu'ils abondent dans les vignes de Resina, de S. Sebastiano, de Pollena, de San Anastasio, etc., etc.

Je me suis efforcé, tout d'abord, de recueillir mes échantillons dans les tufs volcaniques en place; les nombreux ravins, qui déchirent les flancs O. et N. de la Somma, rendent cette recherche très facile; puis j'ai cherché à réunir le plus grand nombre possible d'échantillons, englobés dans des bombes de roches volcaniques, pour voir quelle disposition les minéraux métamorphiques présentent par rapport à la roche enclavante.

Ce sont les échantillons de ce genre que je décrirai en premier lieu, pour aborder ensuite l'étude des blocs qui se trouvent dans toutes les collections. J'essaierai enfin de montrer le lien qui unit ces deux manières d'être des roches métamorphiques de la Somma.

La carte géologique de M. Johnston Lewis m'a été d'un grand secours, d'autant plus que ce savant s'est beaucoup occupé des tufs de la Somma [1].

Les ravins que j'ai étudiés plus particulièrement sont les restes du Fosso-Grande (qui, on le sait, a été en partie comblé par les laves des éruptions récentes du Vésuve), et notamment le Cupo di Pallarino et le Rivo Cupo di Quaglia. J'ai été accompagné dans ce dernier gisement par le guide G. Gozzolino, le célèbre chercheur de minéraux qui, depuis plus de 40 ans, alimente les musées d'Europe des substances cristallisées de la Somma. J'ai, en outre, particulièrement exploré les divers ravins qui se trouvent au dessus du village de Pollena.

Dans les ravins de la Somma, les produits de projection sont prédominants. On y observe des alternances de *leucotéphrites* basiques en coulées, accompagnées d'amas de scories et de tufs de couleur grisâtre, au milieu desquels abondent des blocs de *trachytes*, de *leucotéphrites acides*, roches grises à grands cristaux de leucite et de sanidine, puis des fragments de leucotéphrites basiques, et enfin les *calcaires* plus ou moins modifiés qui nous occupent ici.

Les fragments calcaires se rencontrent à la partie supérieure de ces tufs dans les couches à grands éléments; ces dernières sont recouvertes de tufs fins sableux, bien stratifiés, dans lesquels on ne trouve plus d'enclaves de ce genre.

Les laves basiques des tufs de la Somma sont constituées par divers types de *leucotéphrites* analogues à celles qui forment les filons de l'Atrio del Cavallo; elles sont de couleur foncée. N'ayant jamais personnellement trouvé aucun

1. *A short and concise account of the eruptive phenomena and geology of Mte Somma and Vesuvius in explanation of the great geol. map of that Volcano.* London, 1891.

fragment de calcaire englobé dans ces roches, je crois devoir les laisser de côté. Il n'en est plus de même des roches de couleur claire renfermant le plus souvent de la sanidine que je vais brièvement décrire. Ce sont elles qui sont riches en enclaves de calcaire et qui vont nous fournir de précieux documents.

Je les diviserai en deux groupes, suivant qu'elles renferment de la leucite ou qu'elles n'en contiennent pas.

Roches volcaniques à sanidine sans leucite. — La caractéristique des roches trachytiques de la Somma réside dans leur richesse en grands cristaux de sanidine, dépassant parfois 1^{cm} de plus grande dimension.

Ces roches sont assez variées de composition. Je ne m'occuperai ici que de celles qui renferment des enclaves calcaires. On trouve tout d'abord des *trachytes un peu augitiques* dont les grands microlites d'orthose aplatis suivant g^1 (010) et très enchevêtrés, sont souvent accompagnés de sodalite. Ces roches rappellent celles de Scarrupata (Ischia), jadis décrites par vom Rath.

Dans d'autres échantillons, les grands cristaux de sanidine, très abondants, sont disséminés dans un magma gris jaune ou verdâtre à cassure esquilleuse. Au microscope, cette pâte se résout en microlites d'orthose, aplatis suivant g^1 (010), de dimension et d'abondance très variable avec les échantillons ; ils sont tantôt seuls, tantôt accompagnés de petits microlites de biotite ou d'augite. Les grands cristaux sont formés, en outre de la sanidine, par de la hornblende verte ou brune, par un peu de pyroxène vert, de sphène et enfin par du grenat mélanite en cristaux b^1 (110) parfois zonés, rappelant tout à fait ceux des phonolites et des leucitophyres du Kaiserstuhl. Je reviendrai plus loin sur ce grenat qui est souvent groupé avec l'amphibole, le pyroxène et le feldspath du premier temps de consolida-

tion dont il semble contemporain. Enfin, quelques échantillons contiennent des cristaux nets d'un minéral incolore du groupe haüyne-noséane, qui n'est pas, comme la sodalite du premier type, postérieur aux feldspaths, mais qui constitue un des éléments les plus anciennement consolidés de la roche. Ce minéral renferme les inclusions ferrugineuses bien connues.

Les trachytes que je viens de décrire brièvement ne sont pas les plus fréquents que l'on observe à la Somma. On y trouve, en outre, en grande abondance, une *roche très augitique* renfermant les mêmes grands cristaux : apatite, sanidine, amphibole, pyroxène, sphène, biotite, parfois noséane (avec inclusions noires), grenat, mais dans laquelle les grands cristaux de pyroxène (souvent mi-partie verts, mi-partie incolores) sont plus abondants. Tous ces grands cristaux sont disséminés dans un magma, formé par un feutrage de longues aiguilles ou de cristallites de pyroxène, au milieu desquels se développent çà et là des microlites du même minéral, accompagnés de biotite. Tous ces produits cristallins sont enveloppés par du verre incolore. Il n'existe souvent pas trace de feldspath dans le magma du second temps; dans d'autres cas, l'on observe des microlites feldspathiques filiformes à extinctions longitudinales.

Assez rarement, les microlites de biotite et de feldspath se groupent autour d'un centre et la roche prend une structure variolitique.

Tantôt les éléments du premier temps sont intacts, tantôt au contraire ils sont profondément corrodés, brisés; ils semblent fondre dans le magma, les lamelles de biotite sont souvent tordues. On voit parfois dans les golfes sinueux et profonds, creusés dans l'augite, une grande quantité de lamelles de biotite, offrant une même orientation et constituant comme le squelette d'un grand

cristal. Ces trachytes, qui font penser à quelques variétés du trachyte de Laach, renferment très abondamment de petites enclaves microscopiques de *sanidinites* semblables comme structure aux blocs que nous étudierons plus loin.

Roches volcaniques à leucite et sanidine. — Une autre catégorie de roches de couleur claire accompagne ces trachytes dans les tufs de la Somma. Ce sont des roches poreuses, d'un gris verdâtre, renfermant parfois d'énormes cristaux de leucite, associés souvent à de très grands cristaux de sanidine.

Au microscope, on constate qu'en outre de ces deux minéraux, il existe de grands cristaux d'un feldspath triclinique basique (labrador) et d'augite verte. Ces éléments sont englobés dans un magma extrêmement riche en microlites de leucite, associés à des microlites d'augite et de feldspath triclinique dont un grand nombre s'éteint près de l'allongement, tandis que dans les autres les extinctions atteignent 20° dans la zone de symétrie. Cette roche est donc une *leucotéphrite*, mais une leucotéphrite plus acide que les laves anciennes en coulées de la Somma et que les laves actuelles du Vésuve. La leucite est toujours très abondante ; les proportions de sanidine, de feldspath triclinique et d'augite, au contraire, peuvent présenter d'assez grandes variations. Il existe aussi des roches analogues, mais dépourvues de microlites feldspathiques et qui semblent liées aux leucotéphrites par les mêmes relations qui existent entre les trachytes augitiques pauvres en microlites feldspathiques, et les trachytes normaux décrits plus haut.

Enclaves calcaires dans les ponces volcaniques.

Une première observation est intéressante, les *ponces trachytiques ou leucitiques* de couleur claire englobent

souvent en très grande abondance de petits fragments anguleux de calcaire, en voie de dissolution partielle par les eaux atmosphériques; ils sont devenus alors trop petits pour la cavité qu'ils remplissaient primitivement et au milieu de laquelle ils sont actuellement mobiles. Ces calcaires sont le plus généralement absolument intacts, ce qui s'explique assez facilement; ils ont dû être brusquement arrachés par de grandes explosions et sont restés peu de temps en contact avec la roche volcanique ou soumis à ses émanations.

Ces enclaves ne sont pas les seules que l'on observe dans ces scories; on y trouve des morceaux arrondis de sanidinite et enfin de calcaires, riches en silicates, ainsi que plusieurs des agrégats silicatés qui seront décrits plus loin. Or, fait important, ces roches métamorphiques, parfois rubanées, sont également arrondies et l'orientation de leurs éléments constitutifs n'est pas en rapport avec leur forme extérieure. Il faut nécessairement en conclure que ces roches ont été arrachées des profondeurs alors qu'elles avaient déjà leur constitution définitive; les minéraux métamorphiques sont donc de formation antérieure à l'éruption qui les a amenés au jour. Tandis que les calcaires intacts ont été arrachés près de la surface, les roches métamorphiques, au contraire, l'ont été profondément.

Enclaves dans les roches volcaniques compactes.

Passons maintenant à l'examen des calcaires enclavés, non plus dans les ponces, mais dans les roches volcaniques plus ou moins compactes.

Les *trachytes micacés* renferment parfois en très grande abondance des fragments anguleux de calcaire. Certains échantillons sont constitués par une véritable brèche de

friction, dans laquelle le calcaire est cimenté et quelquefois seulement aggloméré par un peu de verre trachytique. Ce sont sans doute ces roches que M. A. Scacchi désigne dans son dernier catalogue des minéraux du Vésuve sous le nom de *lava a breccia* [1]. Ce savant fait remarquer que la surface des fragments de calcaire est souvent devenue terreuse par calcination.

Ces enclaves calcaires sont souvent tout à fait grenues; elles sont généralement séparées du trachyte par une mince pellicule brunâtre, dépourvue d'éléments cristallisés. La cristallinité de ces calcaires est évidemment due à l'action de la roche volcanique; quant à cette dernière, elle n'a souvent subi aucun phénomène de métamorphisme endomorphe.

M. Pasquale Franco a décrit [2] un échantillon d'une roche qu'il désigne sous le nom de *sanidinite pirossenica* et dans laquelle il a trouvé du grenat, de l'idocrase et de l'épidote (?) qu'il attribue à une action de contact.

Dans les échantillons que j'ai moi-même observés, le grenat est assez fréquent. Sa cristallisation est intimement liée à celle des autres grands cristaux de la roche et il me semble probable qu'il constitue un des éléments anciens de la phase intratellurique, d'autant plus que les nombreux fragments calcaires englobés dans la roche volcanique ne renferment souvent pas trace de minéraux métamorphiques et que la roche volcanique elle-même ne paraît avoir subi aucune transformation endomorphe.

J'ai trouvé, dans les ravins de Quaglia et de Pollena, des échantillons d'une roche gris-bleuâtre, extrêmement riche en gros cristaux de sanidine, et contenant parfois de petites enclaves calcaires. Cette roche paraît très analogue

1. *Op. cit.* p. 51.
2. *I massi regettati dal Mte Somma detti lava a breccia*. Naples, 1889.

à celle qu'a étudiée M. Franco. Elle renferme de gros cristaux de grenat mélanite, de biotite, d'augite, de hornblende, en outre de la sanidine dont il a été question plus haut. Les cristaux de ce dernier minéral sont très riches en inclusions liquides à bulle. Tous ces éléments sont englobés dans un magma du second temps de consolidation, très riche en grains et en longs microlites d'augite verte, ainsi qu'en cristaux d'idocrase, entourés par de l'orthose en petites plages irrégulières, associées à un peu de sodalite et à beaucoup de verre. L'abondance de l'augite, ses fréquents groupements autour des cristaux anciens rappellent ce que nous observerons plus loin dans les roches leucitiques endomorphisées. L'idocrase est extrêmement abondante en cristaux allongés suivant la zone verticale : dans les sections transversales, on observe les formes h^1 (100), *m* (110) ; le minéral est optiquement négatif, sa cristallisation est postérieure à celle de l'augite microlitique, qu'il englobe fréquemment.

Il n'est pas douteux que l'idocrase ne soit un produit d'origine métamorphique, car les fragments de calcaire englobés dans cette roche sont séparés de la roche volcanique par une zone continue de cristaux d'idocrase, s'appuyant sur des paillettes de mica qui, parfois, arrivent à remplacer complètement le calcaire, lorsque l'enclave est de petite taille. Quant au grenat mélanite, il semble nettement antérieur à la période microlitique.

Dans quelques échantillons, le verre disparaît, le feldspath et la sodalite du second temps deviennent plus gros et la roche prend alors la structure des *microsanidinites*, que j'étudierai dans le chapitre suivant.

Toutes ces roches contiennent de petits fragments de sanidinites dans lesquelles se développent de grandes plages à structure pœcilitique d'une scapolite, qui, selon

toute vraisemblance, a été formée par des émanations minéralisatrices, car on la voit souvent naître dans la pâte même du trachyte, y formant de larges éponges. Nous retrouverons ce même phénomène dans d'autres gisements.

J'ai trouvé dans le Rivo Cupo di Quaglia un bloc de calcaire d'environ 40^{cm} de plus grande dimension, fissuré et imbibé par le trachyte à biotite. Celui-ci, au contact immédiat du calcaire, n'est pas endomorphisé, mais très chargé de calcite secondaire. Quant au calcaire lui-même, il est devenu saccharoïde et sur ses bords s'est chargé d'une grande quantité de biotite en fines lamelles, formant même une croûte continue au contact immédiat avec la roche volcanique.

Çà et là dans le trachyte, on observe de petits œillets de mica qui ont une semblable origine. Ce mica jaune verdâtre clair en lames minces, se distingue bien des grands cristaux brun foncé de biotite indigènes dans le trachyte.

C'est aussi de la biotite que l'on observe dans le ciment calcaire des brèches de friction microscopiques du même échantillon. Ces brèches sont formées de fragments anguleux de calcaire et de trachyte; souvent le calcaire n'a été rendu cristallin qu'à sa périphérie.

J'ai recueilli, dans le Rivo Cupo di Quaglia, un bloc de trachyte augitique englobant une enclave sur l'origine de laquelle on peut discuter. La roche englobante est pauvre en microlites feldspathiques. Elle contient beaucoup de grands cristaux de sanidine, accompagnés d'haüyne, de grenat, de pyroxène, d'amphibole et de biotite : un seul cristal d'olivine a été rencontré, renfermant une grande lame de biotite.

L'enclave est à grands éléments; elle est formée d'anor-

thite et d'augite, avec un peu de biotite et d'apatite[1]. L'anorthite se présente en cristaux isométriques de 0 mm 5, extrêmement riches en inclusions vitreuses, parfois disposées en zones. Il existe, en outre, un peu de verre brunâtre, riche en grands microlites d'augite. Au contact avec le trachyte, l'anorthite est corrodée : les cristaux de pyroxène verdâtre sont brisés et cicatrisés par du pyroxène incolore, pourvus de formes géométriques.

Cette enclave est très analogue aux bombes à anorthite et pyroxène qui abondent parmi les blocs épars de la Somma, ainsi que dans les tufs du lac de Bracciano. On peut se demander si cette roche résulte de la transformation du calcaire, ou si, au contraire, elle est le résultat d'une ségrégation basique effectuée dans la roche volcanique. La composition de celle-ci rend cette dernière hypothèse peu probable. Remarquons que la cristallisation de cette enclave s'est certainement effectuée en profondeur : elle a été arrachée alors qu'elle avait sa composition actuelle, car le même échantillon de trachyte renferme des fragments de calcaire absolument intacts.

Dans le même gisement, j'ai rencontré une bombe de la grosseur du poing, entourée d'une croûte de trachyte augitique. Au contact immédiat, se trouve une mince zone de gros cristaux d'augite verdâtre, puis une bande

1. Dans une coulée de *leucotéphrite* basique très feldspathique, intercalée dans les tufs du même ravin, j'ai trouvé une enclave de la grosseur du poing, offrant une grande analogie de composition avec celle qui est décrite ici. Elle est formée principalement de pyroxène vert et de spinelle vert foncé ; de grandes plages d'anorthite remplissent tous les intervalles laissés entre eux par les minéraux précédents. Cette enclave est certainement un calcaire transformé qui aurait dû être décrit p. 155, si j'avais pu en étudier plus tôt les lames minces. Au contact de l'enclave et de la leucotéphrite, tous les éléments de celle-ci, et particulièrement la leucite, deviennent très grands : cette zone de contact rappelle, comme structure, les veines leucitiques des enclaves de l'Astroni, étudiées plus loin.

d'environ 0 mm 5 de mica incolore, au delà de laquelle la roche est exclusivement constituée de péridot (forstérite) et de spinelle violacé et verdâtre. Toute cette partie de l'enclave est caverneuse, sans doute par suite de la disparition du calcaire non transformé. Les cristaux de péridot et ceux de spinelle sont recouverts d'un léger enduit de calcite secondaire. Tous les éléments renferment des inclusions vitreuses, ayant parfois la forme de cristaux négatifs. Dans le mica, elles sont accompagnées d'une grande quantité de grains de pyroxène. Le spinelle forme de gros cristaux et des agrégats de très petits octaèdres de spinelle.

Cette enclave est tout à fait identique à certaines bombes des tufs de la Somma, dont il sera question plus loin.

Les modifications sont souvent profondes dans une catégories de fragments calcaires englobés dans des *roches leucitiques* compactes. Les blocs dont il s'agit et dont je crois être le premier à faire connaître la véritable nature sont ceux que l'on voit dans toutes les collections comme gangue de la sarcolite.

Ce sont des roches compactes, tantôt très tenaces, tantôt au contraire assez fragiles. Elles sont généralement gris-verdâtre, à cassure soit terne, soit brillante. A l'œil nu, on y distingue de gros cristaux, souvent arrondis, vert-foncé, de pyroxène, des lamelles de biotite noire, et souvent aussi de très gros cristaux arrondis d'olivine jaune, entourés d'une petite zone fibreuse de mica. Très fréquemment, cette roche englobe de nombreux fragments de calcaire plus ou moins modifié; elle est souvent creusée de géodes tapissées ou comblées par les minéraux suivants : *sarcolite*, *humboldtilite* (zurlite), *pyroxène*, *cavolinite*, *davyne*, *wollastonite*, *calcite*, etc.

L'examen microscopique fait voir que si l'aspect extérieur des divers échantillons de ces roches est très varié,

plus variée encore est leur composition minéralogique intime.

Un seul fait est commun à tous les échantillons, c'est l'existence comme élément essentiel de l'augite et de la leucite microlitique. Ils semblent n'être pas autre chose que des morceaux d'une roche à leucite analogue à celle qui a été décrite plus haut, mais plus ou moins profondément modifiée par absorption de fragments calcaires.

Passons rapidement en revue la composition de quelques échantillons. La plupart de ceux que j'ai étudiés proviennent du ravin de Pollena.

Ceux qui offrent la composition la plus simple, renferment de grands cristaux d'augite, de biotite, et un peu de sanidine; ces minéraux sont disséminés dans un magma formé de petits cristaux de leucite isotropes, présentant les formes et les couronnes d'augite bien connues. Ils sont accompagnés d'une quantité prodigieuse de microlites et de petits grains d'augite. La roche est dépourvue de magnétite et renferme parfois de longs cristaux d'apatite très pléochroïque. Autour des grands cristaux d'augite, du grenat mélanite et surtout autour des lamelles de biotite se forment des agrégats de petits grains d'augite sans contours géométriques. Ce fait montre que les conditions, dans lesquelles la cristallisation des éléments de la roche a commencé, se sont trouvées, à un moment donné, profondément modifiées. Dans un de mes échantillons, un grand cristal d'augite présente de nombreux plans de séparation suivant *p* (001), accompagnés de macles polysynthétiques, que je n'avais jamais observées dans l'augite des roches volcaniques.

Ce pyroxène, très finement grenu, forme dans la roche même de petits nodules, rappelant en beaucoup plus petit (au point de vue de la dimension des cristaux compo-

sants) les œillets d'augite, formés à la place des enclaves de quartz dans les basaltes. Le plus souvent, ces œillets sont, à leur périphérie, séparés de la roche qui les englobe par une croûte de fines lamelles de biotite. Nous allons voir dans d'autres échantillons que ces œillets pyroxéniques sont les restes de fragments de calcaires transformés.

Les roches qui nous occupent renferment souvent des enclaves calcaires de dimensions très variées, offrant des modifications plus variées encore. L'un des échantillons que j'ai observés est transformé en wollastonite, anorthite et pyroxène vert, moulés par de la méionite et un peu de calcite; nous retrouvons là presque exactement la composition d'une des enclaves décrites plus haut dans les *leucitites* de Capo di Bove. Cette petite enclave est séparée de la roche volcanique par une mince zone de petits grains d'augite verdâtre.

Dans un autre échantillon, les plus gros fragments calcaires enclavés sont seulement bordés d'une zone périphérique de biotite, les plus petits transformés en œillets de biotite avec ou sans augite.

J'ai recueilli dans le ravin de Pollena un bloc de lave leucitique endomorphisée, renfermant plusieurs morceaux de calcaire, dont l'un atteint 0 ^{m} 08 de plus grande dimension. Au contact de la lave, il existe une zone formée en grande partie par de la calcite secondaire, imprégnant la roche volcanique sur quelques millimètres. On y observe des cristaux de péridot. Au delà de cette zone altérée, le calcaire est très cristallin, fort maclé et riche en cristaux de *périclase*, accompagnés de rares grains de péridot. Ce bloc de calcaire à périclase, si l'on fait abstraction de la zone d'altération de quelques millimètres, ne diffère en rien des calcaires à périclase qui seront signalés plus loin, et qui se trouvent épars dans les tufs.

Dans d'autres échantillons, il y a eu brassage de la roche volcanique et de petits fragments calcaires qui se sont transformés individuellement et de façon parfois un peu différente, au point de vue des dimensions et des proportions relatives des divers minéraux néogènes.

C'est généralement le pyroxène qui domine parmi ces derniers; il est souvent accompagné de mica. Très fréquemment, le fragment de calcaire est transformé en grandes plages de calcite maclée, les minéraux métamorphiques sont disposés non pas dans les cristaux de calcite, mais à leur périphérie, à leur point de contact avec les cristaux voisins. Cette disposition s'observe dans les cipolins d'un grand nombre de régions. La structure qui en résulte est assez curieuse, la roche étant parcourue de guirlandes d'augite, jalonnant la mosaïque des grains de calcite.

A proximité de la roche volcanique, on voit souvent apparaître de grands cristaux de *néphéline* ne formant parfois qu'un placage sur une paroi garnie d'augite.

Dans d'autres enclaves, le pyroxène prend dans la calcite des formes découpées, ou bien constitue de gros cristaux pressés les uns contre les autres, associés à des lames de mica et à de l'anorthite; ces agrégats silicatés sont analogues à l'échantillon qui a été décrit en enclave, dans un bloc de trachyte augitique; ils font pressentir les nodules à anorthite et pyroxène que nous étudierons plus loin dans les tufs.

Dans de nombreux blocs, les cristaux d'olivine jaune, qui se voient à l'œil nu dans les roches volcaniques, se montrent dans les lames minces, riches en inclusions de spinelle. Ils sont entourés d'une croûte continue de mica et paraissent provenir de la transformation d'un fragment calcaire, car on retrouve parfois des cristaux analogues, au milieu de petits nids de calcite grenue.

Quand on examine en lumière polarisée parallèle, les plaques minces taillées dans ces roches leucitiques endomorphisées, on constate que dans beaucoup d'entre elles, la leucite est accompagnée de néphéline qui, tantôt moule la leucite, tantôt semble l'épigéniser complètement, un même cristal de néphéline tenant souvent la place de plusieurs cristaux de leucite et englobant les grains d'augite qui les séparaient les uns des autres. Dans chaque échantillon, ce développement de néphéline est très irrégulier, et parfois localisé dans les parties très augitiques qui bordent les enclaves du calcaire.

Souvent aussi, la leucite est entièrement remplacée par de la néphéline qui est fréquemment accompagnée d'orthose. Je ne crois pas que dans ces roches la néphéline soit primaire, je la regarde comme un produit de transformation ayant accompagné l'absorption du calcaire par la roche à leucite, en présence d'émanations sodiques (probablement sous forme de chlorure de sodium). Un argument en faveur de l'origine métamorphique de cette néphéline peut être tiré de la fréquence de ce minéral au milieu de boutonnières d'augite qui sont nettement d'origine récente. Ces pseudomorphoses de la leucite sont à rapprocher de la transformation du même minéral en orthose, signalée par A. Scacchi, et sur laquelle je reviendrai plus loin, ainsi que de la pseudomorphose en orthose et néphéline connue dans divers gisements et particulièrement dans les syénites à leucite de l'Arkansas, récemment décrites par F. Williams.

La composition minéralogique de semblables roches se complique par l'apparition de la wollastonite qui est parfois disséminée d'une façon inégale, mais qui, le plus souvent, forme de petits nids, dans lesquels elle est associée à de l'augite. On trouve aussi parfois un peu de mélanite en petits grains irréguliers ou en grandes plages.

Enfin les blocs métamorphiques que nous étudions se creusent parfois de géodes; le plus généralement elles ne débutent pas brusquement et aux alentours de leurs parois, on voit tous les éléments précédemment énumérés se développer en individus plus gros; ils forment, dans les géodes, des cristaux accompagnés de *cavolinite*, de *davyne*, de *humboldtilite*, de *sarcolite*, également fort bien cristallisés. Ces minéraux spéciaux ne sont pas seulement implantés sur les parois des géodes, ils pénètrent profondément dans la roche même, y formant d'énormes plages qui englobent un grand nombre de petits cristaux des autres éléments et particulièrement de pyroxène. Ils présentent ainsi le genre de structure, appelé *structure pœcilitique* par les pétrographes américains et qui est bien connue par l'exemple de la bastite de Baste. Cette même structure s'observe aussi quelquefois dans d'autres conditions, au milieu des roches qui nous occupent; ce sont de larges lamelles de mica qui englobent une grande quantité de grains d'augite d'orientation quelconque.

Il est inutile d'insister sur les propriétés optiques des divers minéraux spéciaux constituant ces roches; la sarcolite, par sa biréfringence plus grande, se distingue aisément des néphélines; elle est à un axe positif. Parmi les minéraux du groupe de la néphéline, la davyne et la cavolinite, grâce au signe positif de leur axe optique unique, ne peuvent être confondues ni avec la néphéline proprement dite, ni avec la phacélite (Kaliophilite).

Ces agrégats cristallins bordant les géodes conduisent à des roches grenues à grands éléments, parfois très riches en néphéline dans lesquelles il serait difficile de reconnaître la roche initiale, si l'on n'avait sous les yeux tous les termes de passage; elles sont souvent très grenatifères. Du reste, ces roches renferment presque toujours des fouil-

lis de petits grains d'augite disséminés autour des grands cristaux plus ou moins corrodés du même minéral, ou des nids de paillettes de mica qui les font facilement reconnaître. La présence des minéraux du groupe de la néphéline constitue aussi une bonne caractéristique. On conçoit quelles variations peuvent se produire dans ces roches, suivant que la quantité de calcaire absorbé et modifié a été plus ou moins grande.



Fig. 18. — Bloc de roche leucitique endomorphisée par des enclaves calcaires. Celles-ci ont disparu, laissant des cavités polyédriques tapissées de cristaux.

Les géodes dont il a été question plus haut et qui sont souvent tapissées de gros et fort beaux cristaux ne sont pas les seules qui existent. Il s'en trouve aussi de plus petites, ayant conservé exactement la forme du petit fragment de calcaire dont elles occupent la place. Dans le ravin de Pollena, j'ai recueilli un bloc contenant plusieurs centaines de ces petites cavités dont la plus grande dimension ne dépasse pas 2 cm (fig. 18).

Il est facile de voir, même à l'œil nu, la zone dans laquelle la roche englobante a été influencée par développement abondant de grains d'augite. Du côté de la roche, la paroi de la géode est garnie d'une zone de biotite, inva-

riablement recouverte par de petits cristaux d'augite, avec parfois un peu de mica, quelques cristaux de néphéline et surtout de la calcite recristallisée. Ces petites géodes, très délicates, rappellent parfois par leur forme les lithophyses des rhyolites américaines. La disposition des minéraux qui les constituent est celle qui nous a été révélée par l'étude microscopique donnée plus haut.

En terminant, je signalerai un échantillon présentant une disposition spéciale. La roche leucitique est séparée d'une grosse enclave calcaire par une zone dans laquelle toute la leucite a été transformée en un mélange de néphéline et d'orthose : çà et là, on observe de petits œillets, formés de wollastonite et de pyroxène, ou de pyroxène et de mica.

Le contact avec l'enclave calcaire se fait par une large zone de mica dentelliforme, englobant de petits grains de pyroxène. Puis on observe plusieurs zones alternantes de calcite, de mica, puis de péridot dentelliforme.

La structure est comparable à la partie moyenne de la fig. 20. Cet échantillon est le seul dans lequel j'ai rencontré du péridot, avec une disposition zonaire analogue à celle que nous allons fréquemment rencontrer dans les calcaires drusiques.

Enclaves sans relations apparentes de contact avec les roches volcaniques.

Ceci étant établi, passons à l'examen des autres bombes cristallines, contenues dans les tufs de la Somma, et sans relation apparente avec les blocs de roches volcaniques.

Nous aurons à considérer successivement :

a) *Calcaires sans minéraux métamorphiques.*
b) *Calcaires avec minéraux métamorphiques.*
c) *Blocs dépourvus de calcaire.*

Nous verrons plus loin les divisions à établir dans chacune de ces catégories. Etudions d'abord la première.

a) *Calcaires sans minéraux métamorphiques.* — Les calcaires sédimentaires intacts sont assez abondants à la Somma. On sait depuis longtemps que quelques-uns même sont fossilifères.

Dans les ravins de Pollena et de Quaglia, j'ai recueilli des blocs calcinés présentant, à leur périphérie, de nombreuses fissures de retrait, et ressemblant à s'y méprendre à des fragments de roche sortant d'un four à chaux. La haute température à laquelle ces calcaires, plus ou moins dolomitiques, ont été portés pendant l'éruption qui les a amenés au jour, les a plus ou moins complètement transformés en oxydes qui, plus tard, ont absorbé de l'acide carbonique. L'*hydrodolomite* et l'*hydrogiobertite* doivent sans doute leur formation à une réaction secondaire de ce genre.

Dès que les calcaires ont subi un métamorphisme sensible, ils sont devenus cristallins et présentent alors de grandes variations de texture et de coloration ; ils sont parfois colorés par de la matière charbonneuse (*pencatite* du Vésuve). Ils renferment presque toujours une petite quantité d'eau, de magnésie, etc.

b) *Calcaires avec minéraux métamorphiques.* — Les calcaires de cette catégorie sont cristallins et il faut distinguer le cas où les minéraux métamorphiques qu'ils renferment sont distribués d'une façon régulière, donnant ainsi au calcaire une structure rubanée, et celui où ces minéraux sont distribués d'une façon quelconque.

Calcaires à structure zonaire. — Les calcaires de cette catégorie peuvent être eux-mêmes divisés en deux groupes, suivant qu'ils sont creusés de druses ou qu'ils n'en présentent pas.

Tous les savants qui ont étudié les minéraux de la Somma ont été frappés de voir les parois des druses qu'ils remplissent tapissées par une zone de minéraux ferrugineux. M. Mierisch a insisté sur cette disposition [1] et montré que, le plus généralement, les éléments de ces zones extérieures étaient disposés dans le même ordre : pyroxène, mica, péridot et spinelle.

Quand on taille des lames minces dans ces blocs drusiques, on constate que, jusqu'à une distance variable de la druse, les minéraux métamorphiques sont disposés en zones concentriques à la cavité géodique ; nous en étudierons plus loin les détails.

Il ne faudrait pas croire toutefois que tous les échantillons des calcaires zonés de la Somma soient géodiques ; ceux qui présentent cette particularité ne constituent au contraire que l'exception. S'ils dominent dans les collections minéralogiques, c'est que ce sont eux que l'on recueille plus spécialement à cause des beaux minéraux qu'ils renferment. Aussi risquerait-on de se faire une idée très fausse de l'importance relative des divers types de roches métamorphiques de la Somma, si on ne les étudiait pas sur place.

Dans les ravins de Quaglia, j'ai observé des blocs ayant près de 0m 50 de plus grande dimension, dépourvus de géodes, présentant des zones micacées parfaitement rectilignes, sans aucune relation de position avec leurs contours extérieurs. Ces énormes blocs irréguliers fournissent un des arguments les plus frappants que l'on puisse donner pour établir que les blocs de la Somma ont été métamorphisés en profondeur, alors qu'ils étaient encore en place, et par conséquent, avant leur arrachement par l'éruption qui les a amenés au jour.

1. *Op. cit.*

Vom Rath a décrit[1] un échantillon renfermant, au centre, de la calcite lamellaire entourée par une zone périphérique de wollastonite fibrolamellaire. Cette disposition permet de penser que cet échantillon constituait une bombe calcaire débarrassée de son enveloppe de roche volcanique.

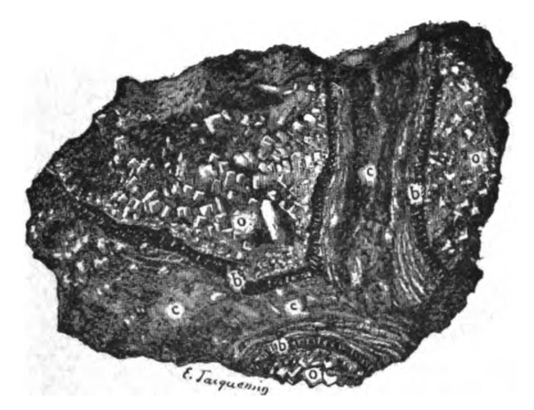


Fig. 19. — Calcaire drusique de la Somma montrant la structure zonaire. Le calcaire (c) est rubané, il est séparé des géodes (o) par une zone fibreuse d'éléments colorés (b). La géode est remplie par de la sanidine et de la sodalite. La figure 20 représente une lame mince taillée dans cet échantillon, qui est représenté ici moitié de sa grandeur naturelle.

Calcaires géodiques. — Dans les blocs creusés de cavités, il y a lieu de considérer séparément : α. le calcaire lui-même et les minéraux formés directement dans sa masse; β. les minéraux développés dans les cavités géodiques. L'existence constante de zones pyroxéniques ou micacées sur la paroi de la géode rend cette distinction facile.

α. Modifications subies par le calcaire lui-même. — Dans le type le plus complexe, une section perpendiculaire à la druse montre la disposition suivante :

1. *Pogg. Ann.* CXLIV, 390, 1872.

Les minéraux de remplissage de la géode s'appuient sur une zone de pyroxène jaune verdâtre pâle en lames minces ; les cristaux de pyroxène sont en général disposés à peu près sans ordre, ils sont suivis par une zone plus épaisse de mica vert, incolore ou légèrement vert clair en lames minces. Ce mica est, d'ordinaire, implanté normalement à la paroi, formant ainsi une couche continue, à

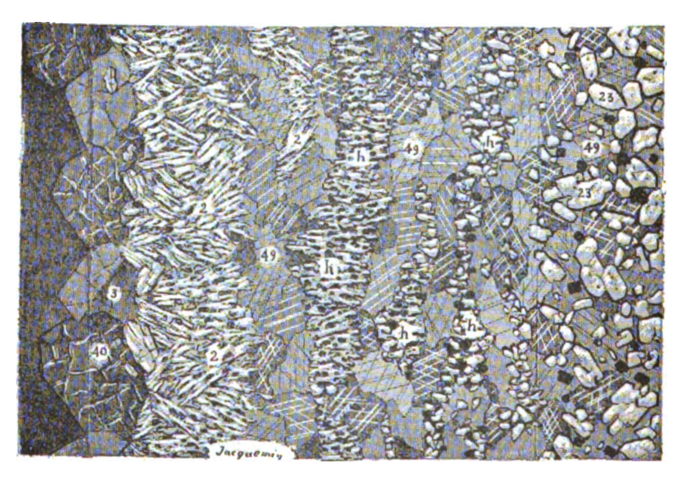


Fig. 20. — Lame mince taillée dans l'échantillon représenté par la figure 19. A gauche, la druse est remplie par de la sanidine (8) et de la sodalite (40) qui reposent sur un peu de pyroxène, puis sur une zone de mica (2). On observe ensuite des alternances de calcite (49), de zones de péridot en palissade (h), et enfin du péridot (23) mélangé à du spinelle et de la calcite.

apparence fibreuse, facile à voir à l'œil nu et atteignant parfois 2 ou 3^{mm} d'épaisseur. Les lamelles de mica sont quelquefois grandes et larges ; dans d'autres cas, elles sont très petites, froissées, montrant en lames minces un fouillis de petites plages biréfringentes qui englobent souvent quelques grains d'augite.

En dehors de la zone micacée, se développent des grains de calcite, de grande taille, présentant la macle suivant b^1 $(01\bar{1}2)$, puis vient une zone irrégulière,

interrompue, constituée par du péridot allongé suivant la zone verticale de signe toujours positif. Ces minéraux forment des cristaux allongés, très pénétrés de calcite, ce qui en rend souvent difficile l'étude optique. Tantôt ils constituent des baguettes rectilignes, serrées les unes contre les autres, parfois associées à du spinelle verdâtre, tantôt au contraire, ils présentent des formes irrégulières, dendriformes.

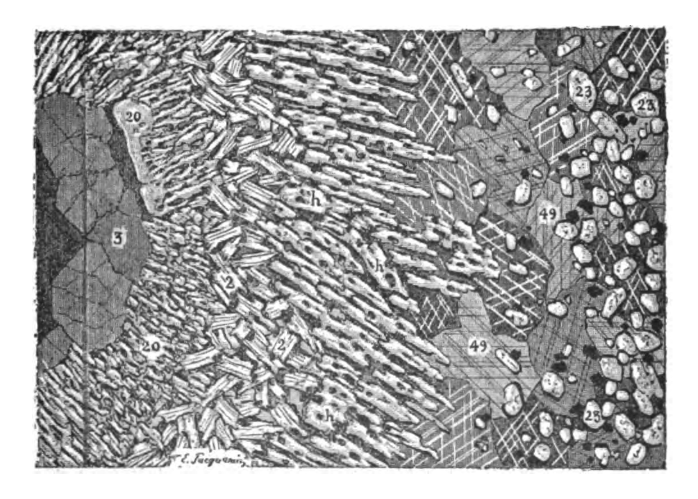


Fig. 21 — Lame mince taillée dans un calcaire zoné de la Somma. La druse est remplie par de la sanidine. Les zones de pyroxène (20), mica (a) et péridot en palissade sont appuyées les unes sur les autres, sans interposition de calcite. Dans l'intérieur du bloc, on observe le mélange habituel de péridot (23), spinelle et calcite (49).

Les dimensions de cette zone en palissade sont très variables ; les cristaux qui la constituent atteignent parfois 1^{mm} et n'ont souvent pas $0^{mm}10$. Quand on s'avance vers l'intérieur du calcaire, on voit se succéder plusieurs zones semblables alternant avec des grains de calcite. Puis apparaît du péridot qui se dispose d'une façon de moins en moins régulière ; il tend à s'isoler le plus souvent des grains sans formes géométriques, associés à beaucoup de spinelle ; enfin, à 1^{cm} environ de la druse, il n'est souvent plus possible de

distinguer de distribution régulière; le péridot et le spinelle étant disséminés d'une façon uniforme dans le calcaire.

M. Mierisch a signalé dans la calcite des inclusions liquides à bulle et à cristaux cubiques de chlorure de sodium. Dans quelques échantillons, j'ai trouvé ces inclu-

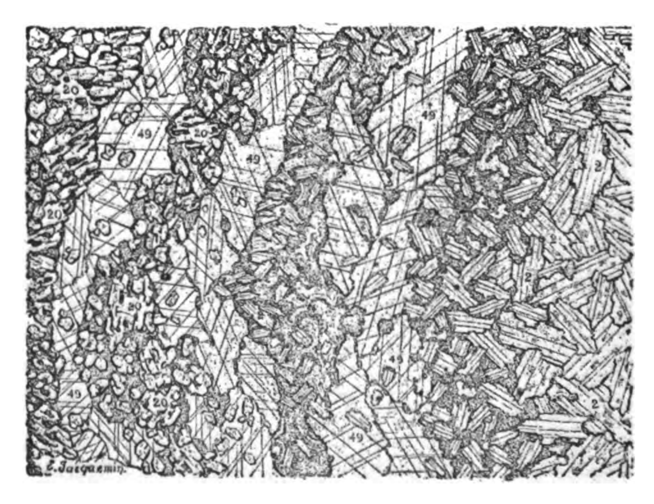


Fig. 22. — Lame mince taillée dans le calcaire zoné de la Somma. A droite on observe une large zone de mica (2) servant de plancher à une druse qui n'a pas été figurée, une seconde zone micacée est séparée de la première par de la calcite (49), plus à gauche, se succèdent des bandes alternativement constituées par de la calcite (49) et du péridot squelettiforme (20). Dans l'échantillon figuré, il existait une vingtaine de ces zones sur une épaisseur de 1cm.

sions en quantité telle que le minéral paraissait trouble en lumière naturelle quand on l'examinait avec un faible grossissement.

De grandes variations existent dans l'abondance plus ou moins grande des péridots et des spinelles. De plus, dans quelques échantillons, le péridot prend des formes géométriques très nettes; il présente alors l'allongement normal suivant la zone $p\, g^1$ (001) (010); il est facile de s'en assurer en constatant que le plan des axes optiques est transversal à

l'allongement. Les clivages p (001) sont toujours très nets, et sont quelquefois accompagnés de clivages suivant h^1 (100).

Tous les échantillons ne possèdent pas à beaucoup près cette disposition. Parfois les trois zones silicatées sont appuyées les unes contre les autres sans être accompagnées de calcite (fig. 21). Dans d'autres cas, la zone extérieure de pyroxène est très réduite ou manque complètement. Le mica est parfois disposé d'une façon irrégulière (fig. 22) au lieu d'être implanté normalement à la paroi. Souvent la zone en palissade n'est pas régulière et le péridot grenu s'observe immédiatement à proximité du mica. Enfin la calcite peut être très abondante, les minéraux métamorphiques étant clairsemés au milieu d'elle, ou bien au contraire ces derniers peuvent dominer, conduisant ainsi aux agrégats entièrement silicatés que nous étudierons plus loin.

Dans d'autres cas, il existe plusieurs zones successives constituées soit par le mica, soit par le péridot squelettiforme (fig. 22) ou grenu, soit enfin par des humites.

Quelques blocs offrent une composition un peu différente.

L'un d'eux (fig. 23) présente à l'extérieur la zone pyroxénique largement développée, puis la croûte micacée. Le péridot en palissade est peu abondant et manque même souvent, puis, dans le calcaire, on observe, vaguement distribuée en zones, une quantité considérable de plages irrégulières de humites présentant les associations régulières de humite rhombique et de clinohumite ou de chondrodite avec les macles polysynthétiques bien connues. Ces minéraux sont souvent associés à du spinelle qui parfois forme des octaèdres et des grains excessivement petits, rappelant les grappes d'œufs de poisson ; ce spinelle crible littéralement les humites ou les entoure. Ces minéraux renferment des inclusions vitreuses et de très nombreuses

inclusions liquides avec bulle et cristaux cubiques de chlorure de sodium.

J'ai observé des échantillons dans lesquels les humites formaient des lits minces, suivant assez bien les sinuosités de la cavité dont le bloc était creusé. Ces humites ne se présentaient plus comme précédemment en grandes plages, mais formaient des agrégats de petits grains sans contours

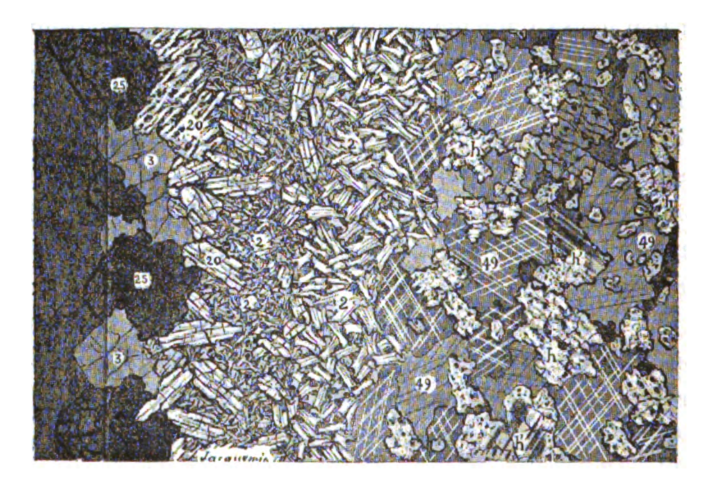


FIG. 28. — Lame mince taillée dans un bloc zoné de la Somma. A gauche, la druse est remplie par de l'orthose (3) et du grenat mélanite (25). La croûte ferrugineuse est constituée par du pyroxène (20) et du mica (2) distribués sans ordre. Le reste du bloc est formé de calcite (49) et de humite rhombique (h), groupés avec de la clinohumite maclée (h'). Ces deux minéraux renferment des inclusions de spinelle en très petits grains irréguliers.

géométriques. Par places, le calcaire avait complètement disparu de la roche formée exclusivement de humite et de spinelle rappelant quelques-uns des nodules silicatés décrits par M. Michel Lévy, dans les cipolins de la Sierra de Ronda en Andalousie, et par moi-même, à Arignac dans l'Ariège.

Ces blocs à humite sont souvent riches en aiguilles d'apatite, j'y ai rarement trouvé des dodécaèdres de gre-

nat. Il existe tous les passages possibles entre eux et les blocs à péridot qui ont été décrits plus haut, les deux groupes de minéraux se mélangeant en proportion variable.

J'ai recueilli un bloc dans lequel les zones de pyroxène et de mica manquent complètement, les humites en cristaux d'un jaune très pâle formaient la bordure de la druse, tapissée de cristaux de leucite.

Enfin, quelques calcaires zonés ne renferment que du mica.

β. Minéraux de remplissage des druses. — Passons rapidement en revue le remplissage des cavités des calcaires. Nous avons vu plus haut que ces cavités étaient garnies d'une sorte d'écorce de minéraux ferrugineux constitués en premier lieu par du pyroxène, puis par du mica. La zone pyroxénique peut manquer ; elle est souvent très réduite.

Le remplissage des druses est très varié, mais d'une façon générale, on peut y distinguer deux sortes de minéraux. Les uns sont des silicates de chaux, de magnésie, ou de fer dont une partie au moins des éléments peuvent être considérés comme ayant été fournis par les calcaires voisins, tandis que les autres, riches en alumine et en alcalis n'ont certainement rien emprunté aux roches sédimentaires et ont été intégralement apportés des profondeurs dans la cavité où ils ont cristallisé.

Parmi ces divers minéraux, il en est que nous avons déjà rencontrés dans les diverses zones du calçaire, ce sont le mica, le pyroxène, le péridot, les humites, le spinelle; d'autres ne s'y trouvent pas, ce sont le grenat, la wollastonite, l'anorthite, la méionite, l'idocrase, la cuspidine, etc.

Au nombre des minéraux dont les éléments sont en totalité ou en partie exogènes, il faut signaler en première ligne la sanidine, la leucite, les néphélines (néphéline, cavoli-

nite, davyne, microsommite, phacélite), la sodalite, la mizzonite, le zircon.

Ces minéraux drusiques sont implantés directement sur le pyroxène ou le mica. Tantôt ils sont peu nombreux, présentant des formes nettes, tantôt ils constituent des agrégats grenus pouvant remplir complètement la cavité des calcaires, ils forment ainsi une véritable roche.

Dans le premier cas, les cristaux sont souvent fort beaux, riches en faces; ce sont ceux qui ornent les collections minéralogiques. Ces divers minéraux forment des associations en nombre illimité, mais quelques-unes sont plus fréquentes que les autres, c'est ainsi que l'anorthite est souvent accompagnée de méionite dans des druses tapissées de petits cristaux de pyroxène jaune verdâtre, — que l'idocrase seule ou associée au grenat, à la sodalite, se trouve dans des géodes spéciales, — que la leucite transparente accompagne parfois les humites dans les cavités de calcaires dépourvus des zones micacée et pyroxénique, — que la leucite transparente est associée à de la méionite, — que l'on trouve des géodes uniquement tapissées par de la néphéline ou de la sodalite, du spinelle ou du grenat mélanite, par de l'idocrase et de la sodalite, de la néphéline et du grenat grossulaire rouge, de la cuspidine et du grenat mélanite, etc.

En ce qui concerne les agrégats cristallins remplissant plus ou moins complètement les cavités drusiques, on trouve également la plus grande variété : dans quelques-uns, ce sont les minéraux basiques qui dominent. C'est ainsi que j'ai rencontré une géode presque entièrement remplie par un mélange de pyroxène, de wollastonite, de spinelle moulés par de la méionite, puis par de l'outremer; ce dernier minéral d'un très beau bleu en lumière naturelle, renferme quelques très grosses inclusions vitreuses à bulle.

Il existe en outre un peu de calcite qui me paraît secondaire. Cet échantillon présente une grande analogie de structure avec les cipolins à outremer du lac Baïkal.

Dans un autre échantillon, la méionite et le pyroxène remplissent seuls la géode : là encore, la méionite, en grandes plages claires et dépourvue d'inclusions, moule le pyroxène ; elle englobe quelques rares cristaux de sodalite.

Mais, parmi ces agrégats minéraux, il faut faire une place spéciale à ceux dans lesquels dominent les minéraux blancs et particulièrement la sanidine.

Ceux-ci possèdent la structure miarolitique, ils sont essentiellement constitués par de la sanidine, le plus souvent associée à de la sodalite, de la néphéline, quelquefois de la leucite.

Les relations mutuelles de ces divers minéraux sont les mêmes que celles que nous signalerons dans les sanidinites, étudiées dans la deuxième partie de ce mémoire. La sanidine est aplatie suivant g^1 (010), souvent maclée suivant la loi de Carlsbad ; la sodalite est plus abondante que la néphéline; comme elle, elle est souvent englobée par le feldspath, mais fréquemment aussi elle le moule. Des cristaux nets de ces trois minéraux se rencontrent dans les interstices miarolitiques de la roche.

Ce qui caractérise les agrégats à sanidine remplissant les druses des calcaires, c'est l'existence presque constante au milieu d'elles de grenat (mélanite ou grossulaire), d'idocrase ou d'amphibole vert foncé, très pléochroïque. Ces minéraux s'y présentent souvent en très beaux cristaux.

Les divers éléments que j'ai énumérés jusqu'ici se mélangent en toutes proportions et les minéralogistes qui ont visité les ravins de la Somma savent quelles nombreuses variétés il existe dans ces agrégats cristallins à

sanidine. Les uns sont très riches en éléments blancs, qui dans d'autres sont très peu abondants, ne formant que l'accessoire de véritables roches de grenat, d'amphibole, etc.

Dans les types riches en sanidine surtout, les éléments colorés sont distribués d'une façon à peu près régulière, quelquefois, au contraire, ils s'isolent dans des bandes contournées qui parcourent d'une façon capricieuse les éléments blancs. Enfin il y a lieu de signaler quelques types exceptionnels, tels que celui par exemple qui consiste en un agrégat très miarolitique de sanidine, de sodalite et de grenat mélanite dont les cavités nombreuses renferment de gros cristaux de méionite. J'en ai recueilli un bel échantillon dans le ravin de Quaglia. Quant aux agrégats riches en leucite, ils renferment souvent de la wollastonite et du pyroxène.

2° Calcaires sans structure zonaire. — A la Somma, on rencontre en assez grande abondance des blocs calcaires, riches en minéraux distribués au milieu d'eux d'une façon quelconque. Ces calcaires, au point de vue de leur composition minéralogique, peuvent être comparés soit à la zone intérieure des calcaires zonés qui viennent d'être décrits, ce sont sans doute alors les débris de bancs calcaires puissamment modifiés en profondeur, soit aux enclaves de calcaire que nous avons étudiées plus haut dans les roches trachytiques et leucitiques. Leur composition est très variable. Les uns ne renferment que des octaèdres de périclase, d'autres, décrits en détail par M. Mierisch, contiennent de la forstérite, dépourvue d'inclusions autres que celles de spinelle avec laquelle elle est toujours associée.

Enfin, le plus grand nombre renferment du péridot, du spinelle, du mica, du pyroxène, des humites, soit seuls, soit associés en diverses proportions.

Parmi les échantillons que j'ai recueillis dans les ravins de Pollena, se trouve un calcaire cristallin renfermant environ 50 0/0 de silicates (anorthite, wollastonite, pyroxène vert foncé) : la wollastonite est en partie calcifiée, l'anorthite forme de grands cristaux à formes géométriques ou cristallitiques. Par places, le calcaire disparaît, et l'on se trouve conduit à des roches entièrement silicatées, analogues à celles qui seront décrites plus loin.

Là encore, les dimensions et les proportions relatives des divers éléments entre eux, leur plus ou moins grande abondance par rapport au calcaire subsistant donnent lieu à un nombre indéfini de types pétrographiques divers, qu'il serait fastidieux de décrire ici. Les grains de calcite sont souvent maclés suivant b^1 $(01\bar{1}2)$.

Il y a lieu de rappeler, dans quelques-uns de ces blocs, l'existence de graphite, de sulfures métalliques (galène, blende, pyrrhotine, pyrite, molybdénite [1]). Je ferai remarquer en passant que ces mêmes minéraux se rencontrent dans de semblables conditions, associés à des silicates dans les cipolins d'un grand nombre de localités et particulièrement dans ceux de l'Ariège.

Notons enfin des roches à éléments souvent très fins, parfois pauvres en calcite et généralement formées de biotite, de pyroxène, de grenat accompagnés de wollastonite et d'anorthite. Parfois, l'un quelconque ou plusieurs éléments de la roche deviennent porphyroïdes et englobent en grand nombre de petits grains de tous les autres minéraux.

Ces roches ressemblent alors à s'y méprendre aux *cornes* résultant de la transformation des calcaires anciens par le granite. Elles sont très analogues aux petites enclaves

1. A. Scacchi, *op. cit.*

calcaires des bombes leucitiques, elles-mêmes métamorphisées, que j'ai décrites plus haut. Elles ont sans doute une même origine.

La disparition totale du calcaire conduit à des roches entièrement silicatées sur lesquelles j'aurai l'occasion de revenir plus loin.

c) *Blocs dépourvus de calcaire.* — Nous connaissons maintenant : 1° la composition des calcaires englobés dans les roches trachytiques et leucitiques, ainsi que les modifications qu'elles ont subies ; 2° celles des calcaires métamorphiques zonés, drusiques ou non, épars dans les tufs de la Somma ; 3° la nature des minéraux qui prennent naissance dans les druses des calcaires.

Il nous sera facile d'interpréter les diverses catégories de blocs holocristallins, entièrement silicatés, accompagnant les roches qui viennent d'être étudiées.

Je les diviserai en trois groupes :

α. Blocs sans sanidine.
β. Blocs à sanidine.
γ. Blocs mixtes.

α. Blocs sans sanidine. — Quelques-uns de ces blocs ont une composition simple, ils sont formés d'un seul minéral dominant, mica ou pyroxène, mais le plus souvent ils ont une composition complexe. Tandis que les uns sont relativement homogènes, les autres, et c'est le plus grand nombre, varient dans leur composition d'un point à un autre. Leurs éléments présentent de grandes variations non seulement dans leur nature, mais encore dans leur mode d'association et leurs proportions relatives.

Tous ces éléments sont basiques et sont constitués par les minéraux que nous avons rencontrés soit dans les petits fragments de calcaires englobés par les roches massives,

soit dans les calcaires zonés. Ils sont sans aucun doute le résultat de transformation totale de calcaires. Je discuterai plus loin les conditions dans lesquelles se sont probablement effectuées ces transformations.

Tous ces agrégats sont holocristallins, ils sont parfois grenus et tellement friables qu'ils s'écrasent facilement au moindre choc; dans d'autres cas, la structure est franchement miarolitique. Très souvent, ils sont creusés de cavités de toutes dimensions, que tapissent de beaux cristaux des éléments constituants ou de minéraux accessoires.

La composition de ces blocs silicatés est très variable, il est cependant des associations qui sont plus fréquentes que d'autres; je vais rapidement passer en revue quelques-unes d'entre elles.

En premier lieu, il faut citer les blocs à pyroxène et anorthite souvent riches en biotite verdâtre. Ils sont très miarolitiques et contiennent de fort beaux cristaux limpides d'anorthite qui ont souvent les faces creusées de petites cavités courbes; on trouve des géodes que tapissent plusieurs cristaux d'anorthite groupés à axes parallèles et dépourvus d'épaisseur notable : ils forment une sorte de vernis cristallin à la surface de la cavité. Le pyroxène est allongé suivant l'axe vertical et de couleur verte de diverses nuances. Ces blocs sont tout à fait comparables à ceux de Santorin. Parfois, ces blocs à anorthite et pyroxène contiennent de la humboldtilite. Ce même minéral est très abondant dans d'autres bombes, renfermant parfois de l'olivine, du pyroxène, du mica et un peu de spinelle; il forme généralement de grands cristaux moulant les autres éléments.

Tous ces minéraux contiennent des inclusions vitreuses. La roche renferme parfois en outre, dans ses cavités, de petites quantités de matière vitreuse rappelant celle que j'ai

signalée dans les bombes de Santorin à leur contact avec l'andésite. Ces diverses particularités, jointes à la prédominance des minéraux calciques et à l'analogie de ces blocs avec quelques-unes des enclaves décrites plus haut dans les roches volcaniques de la Somma, font penser que la fusion ignée a dû jouer un rôle important dans leur genèse.

Une autre catégorie de blocs est principalement composée par du mica vert; du pyroxène jaune verdâtre clair, granulaire et se désagrégeant facilement, forme au milieu du mica des agrégats irréguliers, souvent creusés de géodes. Celles-ci sont riches en gros cristaux de pyroxène de couleur plus foncée que celui qui est granulaire : il présente les formes de la fassaïte. Ces géodes renferment souvent en outre, des cristaux de spinelle, de magnétite, d'idocrase, de phacélite, plus rarement d'haüyne [b^1 (110)]. L'apparition d'anorthite, au milieu du mica et du pyroxène, établit le passage avec le type précédent.

Quand on examine une lame mince taillée dans ces nodules à biotite, on voit que ce mica forme un fouillis de lamelles de dimensions variables et parfois cryptocristallines; elles englobent une grande quantité de grains irréguliers ou de cristallites d'augite. Quand une géode vient à se produire, sur ses parois, le mica devient de plus grande taille et forme de beaux cristaux (riches en faces) de couleur très variable dans des géodes contiguës.

Nous avons vu plus haut des roches de composition analogue naître aux dépens de fragments calcaires englobés dans les roches leucitiques.

Assez souvent, on voit apparaître des humites formant de petits nids[1] dans lesquels ces minéraux sont associés à du mica jaune et à un peu de calcite; ces agrégats sont

1. Par *humites* j'entends les trois types : humite, clinohumite et chondrodite. Vom Rath a constaté que ces trois minéraux ne pouvaient

souvent géodiques et tapissés de cristaux de humites, de mica, d'olivine et enfin d'une augite jaune d'or étudiée par vom Rath. Les humites sont contemporaines du mica; elles sont riches en inclusions liquides avec bulle et avec cristaux de chlorure de sodium; ces inclusions sont plus rares dans le mica.

On rencontre aussi quelquefois des blocs volumineux à humites dominantes ayant une semblable composition; ils sont d'un jaune un peu brunâtre très clair; ils renferment souvent des géodes avec cristaux de humites et de mica blond clair, ainsi que des amandes ou boutonnières de pyroxène et de mica; ces dernières sont creusées de géodes, riches en cristaux des mêmes minéraux seuls ou accompagnés d'idocrase.

L'inégalité de couleur du mica et du pyroxène dans des géodes distantes de quelques millimètres est là encore très nette. Enfin, il faut signaler des blocs à pyroxène, péridot et spinelle qui ressembleraient à des péridotites si la totalité du spinelle n'était nettement cristallisée au lieu d'être xénomorphe comme dans ces roches éruptives. Il vient souvent s'y joindre du mica. Cette catégorie de blocs silicatés me paraît provenir de la transformation de calcaires, effectuée par le procédé qui a donné naissance aux calcaires zonés avec lesquels ils présentent des passages.

Il est assez fréquent de rencontrer dans les ravins de la Somma des blocs criblés de cavités, et essentiellement constitués par de gros cristaux blancs de péridot (forstérite), associés à du spinelle et parfois englobés par du mica. Ces roches sont identiques à l'échantillon que j'ai décrit plus haut en enclave, dans un bloc de trachyte augitique.

être caractérisés ni par leur couleur, ni par leurs associations minérales (*Pogg. Ann.* CXLVII, 259, 1872). Les propriétés optiques permettent aisément la distinction en lames minces.

Les divers blocs silicatés que nous venons de passer en revue sont dus à la transformation complète de calcaires, transformation effectuée sans ordre; nous retrouverons plus loin le résultat du métamorphisme total des calcaires creusés de géodes.

β. Blocs à sanidine. — Les bombes holocristallines à sanidine sont très fréquentes à la Somma. Elles sont connues depuis longtemps sous le nom de *sanidinites*.

Je les diviserai en deux catégories. Les unes, en effet, présentent la composition minéralogique et toutes les particularités qui ont été signalées dans les agrégats miarolitiques des druses de calcaires. On y trouve des roches pauvres en feldspath aussi bien que d'autres qui sont presque exclusivement constituées par des éléments blancs. Ces bombes à sanidine contiennent notamment du grenat mélanite, de l'idocrase, plus rarement de la méionite; elles présentent une composition assez variable.

Les sanidinites constituant ma seconde catégorie sont souvent moins miarolitiques et sont tout à fait identiques aux sanidinites de divers gisements que nous décrirons longuement dans la seconde partie de ce mémoire.

Les premières résultent probablement du démantèlement de grandes cavités de calcaires drusiques.

Les conditions, évidemment très variables, dans lesquelles s'est effectué le remplissage des druses, expliquent les innombrables variations dans la composition et dans les proportions relatives des divers éléments des agrégats cristallins qui nous occupent.

Par contre, l'homogénéité relative de la seconde catégorie de sanidinites s'explique si l'on admet que ces roches résultent, comme j'essayerai de l'établir plus loin, de la cristallisation en profondeur du magma trachytique ou leucotéphritique à une distance suffisamment éloignée

des parois calcaires, pour qu'elles n'aient pu être influencées par elles.

Les sanidinites à grenat, idocrase, amphibole, etc., peuvent être comparées, en quelque sorte, à des sanidinites endomorphisées par action de contact avec le calcaire et l'on peut expliquer ainsi les passages existant entre ces deux catégories de produits. Remarquons que les minéraux basiques de ces sanidinites sont analogues à ceux qui se produisent dans certaines roches éruptives anciennes au contact de calcaire.

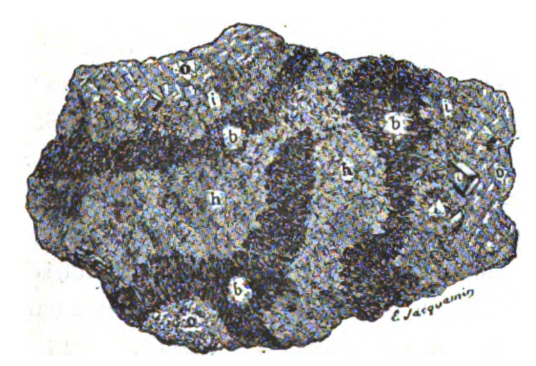


Fig. 24. — Bloc mixte entièrement silicaté, formé de humites (h) séparées de zones d'idocrase (i) et de minéraux acides (o) par une zone micacée (b).

γ. Blocs mixtes. — Enfin, il existe des blocs entièrement silicatés ayant une composition mixte. La fig. 24 représente l'un d'eux en grandeur naturelle ; en h, on observe des humites mélangées à un peu de spinelle et de mica jaune ; en b, une couche continue de mica vert ; en i, une zone d'idocrase brune, compacte ; en o, un mélange grenu de sanidine, de sodalite et de grenat. Il est facile de reconnaître la disposition décrite en premier lieu dans les calcaires zonés en voie de modification. h correspond à la zone intérieure du calcaire, ici entièrement transformé ; b, à l'enveloppe extérieure des géodes dont i et o constituent

le remplissage. Souvent un échantillon de la grosseur du poing présente un grand nombre de fois une disposition analogue à celle de la figure. Grâce aux zones plus ou moins régulières du mica, il est possible de suivre pas à pas les transformations du calcaire dont il reste parfois des lambeaux au milieu des humites. Ainsi s'explique, dans un bloc exclusivement silicaté, la coexistence de minéraux de basicité aussi différente que l'orthose et la humite.

Si l'on réfléchit, d'une part, à la variété qui a été constatée dans le mode de transformation des calcaires, et d'une autre, à celle qui réside dans la composition du remplissage des druses, on conçoit que le nombre des associations minérales de l'ordre de celles que nous venons de signaler soit en quelque sorte indéfini, bien que les relations mutuelles des nodules acides et de leur enveloppe basique restent toujours les mêmes.

En résumé, on voit que les calcaires englobés dans les blocs de lave de la Somma présentent des modifications très variées. Ils deviennent très cristallins, se silicatisent plus ou moins profondément : les petits fragments seuls sont totalement transformés. Les minéraux produits dans de telles conditions sont surtout le pyroxène, le mica, la wollastonite, plus rarement l'anorthite, le grenat mélanite, la néphéline, très rarement le péridot et le spinelle[1]. Le plus généralement, le fragment de calcaire est séparé de la

1. J'ai rencontré la périclase dans une seule de ces enclaves, mais le même minéral est assez abondant dans des blocs calcaires épars de la Somma : sa formation peut être expliquée par une expérience de M. Daubrée, qui a obtenu ce minéral par réaction, à la température du rouge, de la chaux sur du chlorure de magnésium; en faisant agir dans les mêmes conditions le chlorure d'aluminium sur de la magnésie, il se produit du spinelle (*C. Rendus*, XXXIX, 135, 1853). Rappelons que H. Ste-Claire Deville a obtenu la périclase par décomposition du chlorure de magnésium par la vapeur d'eau (*C. Rendus*, LIII, 985).

roche volcanique par une couche assez épaisse de grains d'augite et de paillettes de mica.

Un fait à remarquer, c'est la rareté dans ces calcaires des péridots, du spinelle et l'absence des humites, minéraux qui sont au contraire abondants dans les blocs épars de la Somma.

Les minéraux néogènes les plus fréquents, sont surtout calciques, à l'exception du mica qui ne pénètre jamais bien profondément dans le cœur de l'enclave. La plupart des transformations qui nous occupent peuvent s'expliquer par la voie ignée, bien que la présence du mica implique, dans l'état actuel de nos connaissances, l'intervention nécessaire de minéralisateurs, tels que les fluorures ou les chlorures alcalins.

Dans l'espèce, l'intervention du chlorure ou du fluorure de sodium paraît probable. En effet, dans les phénomènes de métamorphisme endomorphe que j'ai décrits plus haut au sein des blocs de laves ayant englobé des fragments de calcaire, on a vu la roche volcanique se charger non seulement de pyroxène, mais encore de néphéline, épigénisant plus ou moins complètement la leucite[1]. Les minéraux formés dans cette catégorie de roches endomorphisées sont assez riches (sarcolite, humboldtilite), ou très riches (néphéline) en soude et contiennent même du chlorure de sodium (microsommite).

Pour expliquer la formation des minéraux des calcaires drusiques, il faut quelque chose de plus.

M. Mierisch a proposé l'intéressante théorie qui suit : Au contact de la matière fondue, le calcaire s'est fendillé, a perdu une partie de son acide carbonique. La lave a

1. Lemberg a transformé de la leucite en néphéline, en chauffant, en tube scellé, la leucite avec du chlorure de sodium (*Zeitsch. d. d. geol. Gesell.*, XXVIII, 539, 1876).

pénétré de proche en proche. Ainsi s'explique la formation des druses, la division des blocs en fragments. La lave, riche en magnésie, ayant absorbé la chaux, a donné naissance à la zone d'augite qui revêt les druses, puis à la biotite. Plus on s'éloigne de cette lave, plus on voit disparaître les minéraux formés sous son influence et apparaître ceux que le calcaire peut engendrer seul à haute température (spinelle, forstérite), par union des éléments préexistants. L'acide carbonique, ne pouvant s'échapper de la druse, s'est recombiné à la chaux pour donner de la calcite. Plus les zones d'augite et de biotite sont larges, et plus énergique a été l'action de la roche volcanique. M. Mierisch s'étonne de voir surtout se produire des minéraux magnésiens au sein d'un calcaire peu riche en magnésie : il fait remarquer, en outre, que la quantité de chaux est d'autant plus grande dans les minéraux formés que l'on considère des points plus rapprochés de la lave, l'augite étant très calcique, le mica fort peu, la forstérite et le spinelle ne l'étant pas. L'auteur admet que la chaux, non combinée, a été enlevée par des fumerolles, d'acide chlorhydrique par exemple.

Pour expliquer comment les cavités des calcaires, qu'il imagine remplies à un moment donné par la lave, ont pu être ensuite débarrassées de cette lave dont on ne retrouve plus de traces, M. Mierisch suppose que celle-ci, après avoir pénétré dans les fissures du calcaire, ou bien s'est retirée, ou bien s'est solidifiée en place. Les variations du niveau de la matière fondue dans le volcan, lui fournissent un argument en faveur de la première hypothèse. Pour expliquer la seconde, il fait remarquer que le calcaire, ayant perdu son acide carbonique, a diminué de volume, il en a été de même pour la lave quand elle s'est solidifiée. Au moment de sa consolidation, la lave s'est fen-

due et de nouvelles fissures se sont produites à la place des anciennes fentes du calcaire, un instant remplies par la lave. Grâce à l'action prolongée de la chaleur, la lave a pu s'incorporer au calcaire et ne plus laisser de traces, sauf peut-être sous forme d'une variété de leucite grise, riche en inclusions vitreuses que l'on rencontre parfois dans les géodes qui nous occupent. Plus tard, les druses auraient été remplies par l'action de fumerolles.

Telle est la théorie proposée par M. Mierisch.

Mes observations sur les modifications subies par les blocs de calcaire, englobés dans les roches à leucite, semblent, au premier abord, venir justifier cette théorie, puisqu'au contact de la lave et du calcaire, on voit se former de l'augite et du mica, mais un examen plus approfondi montre que cette théorie est insuffisante, d'une façon générale, tout en pouvant s'appliquer à quelques cas particuliers.

On a vu plus haut, en effet, que lorsque le métamorphisme du calcaire est nettement produit par l'action directe de la lave, il y a surtout formation de minéraux calciques (pyroxène, wollastonite, anorthite), qui manquent dans l'intérieur des calcaires zonés.

La fréquence d'une zone de pyroxène et de mica autour de ces enclaves calcaires serait évidemment d'accord avec l'hypothèse de M. Mierisch, mais il me semble impossible d'admettre que les humites, les péridots et le spinelle résultent de l'action de la chaleur seule sur les éléments préexistants du calcaire. D'après les analyses de Ricciardi, citées par M. Johnston Lewis[1], les calcaires de Sorrente renferment de 1 à 20 0/0 de magnésie, de 2 à 3 0/0 de silice, ce qui est insuffisant pour expliquer la proportion

1. *Op. cit.*, 95.

de silicates de magnésie formés à la Somma. Il faut nécessairement admettre un apport.

Remarquons, en outre, que ni les trachytes, ni les roches à leucite de la Somma ne sont des laves très riches en magnésie.

Dans les petits fragments de calcaires englobés par la lave, le développement des minéraux s'étend rarement au delà de 0 cm 2 de la paroi de contact, et cependant l'enclave, de petite dimension, est englobée dans un gros bloc de roche volcanique : elle se trouve par suite, pour être transformée, dans de bien meilleures conditions que la plupart des blocs géodiques dont la surface de contact avec la roche volcanique, dans la théorie de M. Mierisch, est relativement faible par rapport à la masse transformée. D'après ce savant, les zones d'augite et de mica seraient d'autant plus épaisses que l'action de la lave aurait été plus intense. Dans mes échantillons, il n'y a pas proportionalité entre le volume de la géode, la zone micacée et l'intensité du métamorphisme subi par le bloc calcaire, ce qui devrait exister, si les transformations étaient dues au mélange avec le calcaire de la lave ayant, à un moment donné, rempli la géode. Tel échantillon, en effet, est creusé d'une énorme géode, tapissée par une mince zone de minéraux métamorphiques, au delà de laquelle on n'observe que peu de produits récents, noyés dans le calcaire, tel autre, au contraire, transformé jusqu'au cœur, ne contient que des géodes très réduites, dans lesquelles les zones pyroxéniques et micacées sont presque nulles.

Enfin, les laves leucitiques que j'ai étudiées plus haut présentent toujours des traces de leur structure originelle, même quand elles sont très profondément endomorphisées, et, pour cette raison encore, il ne m'est pas possible d'admettre cette autodigestion de la roche volcanique, qui,

dans l'hypothèse de M. Mierisch, aurait, à un moment donné, rempli les druses des calcaires.

Aussi, tout en admettant une action de contact par voie ignée pour expliquer quelques-uns des phénomènes métamorphiques de la Somma, proposerai-je une théorie différente pour interpréter les calcaires drusiques.

Je considère les *calcaires zonés* non comme le résultat d'une transformation effectuée par contact direct avec la lave, mais comme produits par l'action d'émanations volatiles. Les calcaires, plus ou moins calcinés et problablement en place, par l'action de la haute température à laquelle ils ont été soumis à proximité du magma fondu, se sont fendillés. Dans les fissures ainsi produites, ont circulé des émanations volatiles provenant du magma volcanique.

D'après la nature des minéraux formés, et d'après les synthèses qui ont été effectuées pour quelques-uns d'entre eux, il est probable que les chlorures de sodium, de magnésium, d'aluminium, de fer, ainsi que les fluorures et fluosilicates et silicates alcalins entraînés par la vapeur d'eau, devaient y prédominer.

En circulant dans les fissures, ces émanations volatiles ont pu se condenser, pénétrer la roche poreuse et l'imbiber plus ou moins profondément. Il a pu ainsi s'y développer, comme en vase clos, des réactions entre les éléments intégrants du calcaire (CaO, un peu de MgO, de SiO^2 et d'Al^2O^3) et les éléments apportés.

Loin de la paroi des fissures, les premiers devaient l'emporter sur les seconds ; on comprend dès lors que ce soient des minéraux basiques qui se soient déposés : il s'est formé du péridot, des humites, en même temps que l'excès d'alumine se précipitait sous forme de spinelle.

Cet apport de magnésie est des plus fréquents dans tous

les gisements de calcaires anciens modifiés par des roches éruptives de composition variée.

Sans être obligé d'invoquer les célèbres expériences de J. Hall pour expliquer la recristallisation de la calcite, qui abonde dans la zone intérieure des calcaires transformés, on peut s'appuyer sur l'expérience de MM. Friedel et Sarasin qui ont fait cristalliser en tube scellé la calcite à 500°, en chauffant du carbonate de chaux précipité en présence de chlorure de sodium. Ce mode de genèse de la calcite est rendu des plus probables par la fréquence des inclusions liquides à cristaux cubiques de chlorure de sodium dans la calcite des calcaires zonés qui nous occupent.

Quand la roche calcaire a été ainsi pénétrée par les émanations, et que des recristallisations se sont effectuées au milieu d'elle, à proximité de la paroi des fissures l'imbibition a été plus intense, la plus grande partie du calcaire a été dissoute et c'est pourquoi les minéraux néogènes ont pu former des zones continues, au lieu d'être épars dans la roche. De plus, la proportion des éléments basiques indigènes étant moins grande que précédemment, l'alumine, au lieu de se précipiter sous forme de spinelle, a pu se combiner à la silice et à la magnésie pour donner naissance au mica.

Enfin quand, grâce à cette zone de mica, accompagnée parfois de pyroxène, la paroi calcaire a été recouverte d'un enduit silicaté, celui-ci l'a protégée contre les apports étrangers. Les minéraux, qui se sont dès lors déposés, ont été presque exclusivement produits par réaction des éléments exogènes les uns sur les autres, bien que les calcaires voisins, subissant la même évolution, aient pu fournir la chaux des minéraux calciques que l'on y rencontre.

Les conditions dans lesquelles se sont effectués ces phénomènes de corrosion et de recristallisation ont dû être des plus variées, suivant les dimensions des fissures, la situation par rapport au foyer éruptif du milieu où elles se trouvaient, suivant la nature des émanations susceptibles elles-mêmes de variation, etc. On s'explique, dès lors, l'intensité plus ou moins grande des modifications du calcaire, suivant les échantillons observés, ainsi que le caractère épisodique des cristallisations effectuées dans les druses, et les multiples associations minérales que l'on y observe.

Les blocs mixtes ont été produits toutes les fois que les modifications se sont effectuées d'une façon intense et simultanée dans des fissures contiguës.

Les principales espèces qui tapissent ces druses sont les suivantes :

Minéraux sodiques ou potassiques : sanidine, néphéline, phacélite, sodalite, leucite, etc.

Minéraux calcosodiques : microsommite, davyne, haüyne, outremer, méionite, etc.

Minéraux calciques : anorthite, wollastonite, fluorine, cuspidine, etc.

Minéraux ferro-calciques et ferro-magnésiens : idocrase, grenats, amphiboles, pyroxènes, etc.

Minéraux magnésiens et ferro-magnésiens : péridots, humites, mica, spinelle, etc.

Or, notons que dans ces diverses catégories de minéraux, tous ceux qui ont été reproduits artificiellement ont pu l'être par voie humide et le plus généralement en présence d'alcalis, de chlorures alcalins ou terreux [1].

1. Pour le pyroxène, on peut rappeler la célèbre expérience de M. Daubrée (*C. Rendus*, XLV, 792, 1856). Les travaux récents de MM. Ch. et G. Friedel (*Bull. Soc. minér.*, XIII, 90, 129, 182, 233 et 238,

Les minéraux décrits par M. A. Scacchi, puis par vom Rath dans les enclaves des laves du Vésuve (éruptions de 1822 et de 1872) ont une grande importance au point de vue qui nous occupe, en montrant que les laves leucitiques sont accompagnées d'émanations susceptibles de produire par sublimation en présence de la vapeur d'eau un assez grand nombre de minéraux qui sont précisément de ceux que l'on rencontre dans les druses des calcaires (microsommite, néphéline, sodalite, leucite, amphibole, pyroxène, grenat, etc.) de la Somma.

La théorie que je propose pour expliquer ces calcaires zonés est donc appuyée par des faits positifs. La composition minéralogique de quelques-uns des minéraux formés dans ces roches vient, du reste, lui donner une confirmation, en montrant l'importance du rôle joué par les chlorures, les fluorures, les sulfates, et la vapeur d'eau dans leur mode de formation.

J'ai parlé déjà de la fréquence des inclusions liquides à cristaux de chlorure de sodium dans la plupart des éléments de ces blocs[1]. Dans les druses, les minéraux

1890) ont une grande portée théorique en indiquant le genre de réaction qui a dû donner naissance à beaucoup de minéraux des druses de la Somma, tout en ne suivant pas exactement les conditions réalisées dans ce gisement. Tous ces minéraux ont été obtenus en tube scellé à 500°, la néphéline, par l'action d'un excès de potasse ou de soude sur de la muscovite, la sodalite, en ajoutant du chlorure de sodium. En remplaçant l'alcali par du silicate de potasse, il se produit de l'orthose, de la néphéline et de la leucite. La chaux et le chlorure de calcium, employés dans les mêmes conditions, ont donné de l'anorthite. En faisant agir sur le mica du sulfure de sodium et de la soude, les mêmes savants ont obtenu une substance hydratée, voisine de la noséane. Du mica noir s'est produit dans plusieurs opérations.

Antérieurement, MM. Friedel et Sarasin avaient obtenu de l'orthose en chauffant, en tube scellé, du silicate d'alumine et du silicate de potasse en présence de l'eau (*Bull. Soc. minér.*, II, 158, 1879 et III, 171, 1880).

1. M. Mierisch a constaté l'existence de sulfates dans quelques-unes d'entre elles.

chlorés sont abondants (sodalite, microsommite, méionite), on y rencontre des minéraux sulfatés (haüyne, outremer).

Quant au fluor, il existe comme élément constitutif des humites, de certains micas, de la cuspidine, et enfin de la fluorine qui se rencontre parfois, bien que rarement, à la Somma.

Le rôle que le fluor ou les fluorures ont joué dans les phénomènes métamorphiques de la Somma[1] est éclairé par les faits qui résultent de l'étude des tufs de nombreux points de la Campanie. M. A. Scacchi a, en effet, démontré[2] que, dans cette région, des émanations fluorifères (de fluorure de silicium, d'après lui) ont imprégné ces tufs, y ont développé d'intéressants minéraux (microsommite, grenat, etc.) et ont attaqué vivement les blocs de calcaire qu'ils contiennent. A leur périphérie, ces blocs sont souvent séparés du tuf par une croûte de mica, au delà de laquelle le calcaire est plus ou moins complètement transformé en fluorine et en fluorures tels que la *nocérine* (oxyfluorure de calcium et de magnésium), un fluorure rouge désigné, par M. A. Scacchi, sous le nom de *fluosiderite*, et parfois de la calcite, de l'aragonite, etc.

Les modifications du calcaire sont bien postérieures au dépôt du tuf, car fort souvent, on rencontre dans celui-ci des fragments calcaires en quelque sorte suspendus dans une cavité, devenue trop grande pour eux, par un feutrage de délicates lamelles de mica blanc clair, dont la formation en place ne peut laisser aucun doute. M. Scacchi a

1. L'existence du fluor dans les fumerolles du Vésuve a été reconnue par M. A. Scacchi.

Il est intéressant aussi de rappeler que M. Cossa a trouvé du fluosilicate de potasse (*Hiératite*), parmi les produits de fumerolles volcaniques à Vulcano. (*Bull. Soc. minér.*, V, 61, 1881.)

2. *Atti d. R. Accad. di Napoli.*, 2e série, II, 1885, et *Memor. R. Comit. geol. d'Italie*, IV, 1890.

rencontré en outre dans un gisement un petit filonnet de fluorine traversant les tufs.

Tous les fragments de calcaire ne sont pas, du reste, pourvus de cette croûte extérieure de mica, mais presque tous sont fluorés et contiennent de la silice.

J'ai moi-même visité cette région dans le courant de cette année, je donnerai une courte description de quelques-uns des échantillons que j'y ai recueillis, en ne m'occupant que de ceux pouvant jeter quelque jour sur le mode de production des minéraux similaires de la Somma.

Le gisement le plus intéressant à visiter se trouve aux environs de Nocera, entre la station de Codola et Sarno. Peu après la sortie du tunnel, à Fiano, des carrières sont ouvertes à gauche et à droite de la voie ferrée. Dans un *tuf trachytique*, assez riche en sanidine, ou rencontre en abondance des fragments arrondis ou anguleux de calcaire, n'ayant souvent que la grosseur d'une noisette, mais pouvant atteindre plusieurs décimètres de diamètre.

Quelques-uns de ces échantillons sont entourés d'une écorce de mica jaune clair, sur laquelle sont implantés des cristaux de microsommite et de petits octaèdres réguliers, noirs, à éclat métallique. Au dessous de cette couche micacée, se trouvent souvent des vides irréguliers les séparant du calcaire, lui-même plus ou moins transformé en *fluorine* blanche ou jaunâtre en masses mamelonnées, ou curieusement contournées, rappelant la hyalite. Cette fluorine est intimement associée à des agrégats de prismes hexagonaux ou de très longues et très fines aiguilles transparentes de *nocérine*. Le minéral noir octaédrique dont j'ai parlé plus haut est quelquefois assez abondant.

Quand les nodules sont de petite taille, ils sont parfois creux et ne montrent, quand on les brise, qu'un peu de fluorine cristalline ou pulvérulente, mêlée à la nocérine.

J'ai recueilli un gros bloc ayant environ 10 cm de diamètre dont la croûte micacée était peu adhérente au noyau central. Celui-ci était très fissuré et présentait en son centre une large géode, traversée par des aiguilles de nocérine, atteignant 4 cm de longueur, avec un diamètre ne dépassant pas celui d'un cheveu. Toutes les fissures circulant au milieu du noyau, transformé en fluorures, étaient recouvertes de cristaux de nocérine d'un blanc soyeux, associés aux octaèdres noirs.

Une section diamétrale d'un de ces nodules micacés montre au microscope, à partir de l'extérieur, des lamelles enchevêtrées d'un mica blond clair, très pléochroïque, intimement associé à de la fluorine qui forme au milieu des cristaux de ce dernier minéral des masses arrondies et irrégulières.

Quand on se rapproche du centre de la bombe, on voit apparaître la nocérine qui remplace bientôt complètement le mica. La nocérine est englobée par la fluorine : elle est souvent beaucoup plus abondante que ne le faisait supposer l'examen macroscopique.

La nocérine est hexagonale, allongée suivant l'axe vertical. Son signe optique est négatif, sa biréfringence très forte. Les cristaux, englobés par la fluorine, ont souvent des formes cristallitiques, et les sections perpendiculaires à l'axe vertical montrent des assemblages étoilés à symétrie sénaire, rappelant ceux des cristaux de glace. Cette variété cristallitique de nocérine offre une analogie frappante de formes et de biréfringence avec le silicate de chaux hexagone, dimorphe de la wollastonite, qui abonde dans les verres calcaires artificiels : le signe optique des deux minéraux est toutefois différent.

Tous les minéraux qui viennent d'être énumérés renferment en inclusions des grains ou des octaèdres régu-

liers, souvent brun foncé et transparents, du minéral que j'ai déjà signalé dans la zone périphérique de ces blocs. Ce minéral a la réfringence du spinelle. Je n'ai pu en isoler une quantité suffisante pour déterminer avec certitude sa composition chimique.

Ces petits cristaux se trouvent assez souvent au milieu d'un globule légèrement verdâtre, ressemblant à une inclusion vitreuse. Quand les dimensions de ces globules sont un peu considérables, on constate qu'ils agissent sur la lumière polarisée : ils sont sans doute formés par de la nocérine.

Des lames minces, taillées dans les parties centrales du nodule géodique dont j'ai parlé plus haut, montrent qu'elles sont presque complètement formées de fluorine. Celle-ci se présente en globules arrondis, dont les intervalles ont été remplis par des cristaux allongés d'un minéral à un axe positif, faiblement réfringent, possédant une biréfringence un peu supérieure à celle du quartz. Ses propriétés optiques et son association à la fluorine et à la nocérine, me font penser que ce minéral est probablement de la *sellaïte*, bien que je n'ai pu encore l'isoler pour le soumettre à un essai chimique.

Ce minéral présente des formes curieusement découpées et dentelliformes, grâce aux nombreux globules de fluorine qu'il enveloppe.

Le même échantillon renferme de très fines aiguilles brun rouge, assez réfringentes, s'éteignant parallèlement à l'allongement de signe négatif : il ne m'a pas été possible d'en déterminer la nature.

J'ai examiné quelques lames minces, taillées au contact du tuf et des blocs de calcaires qu'ils englobent. Elles permettent de constater l'existence de plusieurs minéraux qui n'ont pas été signalés plus haut.

Les coquilles micacées, formant l'extérieur des nodules calcaires, sont quelquefois très adhérentes au tuf. La zone de contact immédiat est formée par de la fluorine, englobant des lamelles d'orthose, parfois aplaties suivant g^1 (010) et maclées suivant la loi de Carlsbad, des cristaux jaune d'or d'augite, et des rhombododécaèdres b^1 (110), ainsi que des grains de grenat de la même couleur. Ces divers minéraux sont d'origine métamorphique, car ils diffèrent des éléments normaux du tuf.

A quelques millimètres du contact, il n'existe plus que des agrégats microcristallins d'augite, de grenat et de feldspath dans lesquels la fluorine est rare ou absente.

Vom Rath avait signalé[1] déjà des cristaux nets de hornblende et d'augite à l'extérieur des blocs métamorphisés de ce gisement. Dans les échantillons que j'ai moi-même examinés, je n'ai point trouvé de cristaux macroscopiques de ces divers minéraux.

Quant au tuf lui-même, il a été aussi modifié par les émanations qui nous occupent ici, ses cavités sont, en effet, garnies de sphérolites feldspathiques, implantés sur leurs parois ou recouvrant des fragments brisés des minéraux primordiaux du tuf. Lorsque ces cavités ont été comblées par les feldspaths récents, la roche contient des boutonnières sphérolitiques, tout à fait identiques à celles du *piperno* de la Pianura, qui semble avoir été le siège de transformations tout à fait analogues[2].

Dans ce dernier gisement, on constate un fait particulier, jadis signalé par vom Rath, la formation, au milieu même du tuf, de cristaux nets et transparents, d'un minéral du groupe des wernérites, la *marialite*. Le

1. *Sitzungso. niederrhein. Gesellsch.* 1882.

2. MM. A. et E. Scacchi ont signalé, en outre, à la Pianura et à Fiano, une variété aciculaire d'oligiste (*rafisidérite*).

développement secondaire de ce minéral dans le tuf trachytique par voie d'émanations minéralisatrices est tout à fait comparable à ce que je décrirai plus loin dans les enclaves de trachytes et de sanidinites de plusieurs gisements.

A Fiano, les tufs sont en outre très riches en petits prismes hexagonaux d'un blanc laiteux de *microsommite* que l'on rencontre dans toutes les cavités de la roche : ils abondent à proximité des enclaves calcaires.

Les blocs calcaires, dépourvus d'enveloppe micacée, sont souvent chargés de fluorine. Ils sont parfois terreux, mais fréquemment aussi leur partie centrale est transformée en calcaire très cristallin. Dans un échantillon ayant environ 40^{cm} de diamètre, j'ai rencontré en abondance considérable des octaèdres de *périclase*, tout à fait identiques à ceux de la Somma. Ce fait aurait une certaine importance, s'il était possible de démontrer, comme pour le mica, que la périclase s'est formée par l'action de fumerolles postérieures à l'éruption qui a donné naissance aux tufs. Bien que cette hypothèse me paraisse probable, rien dans la disposition du bloc étudié ne permet de l'affirmer.

Cette longue digression fait voir en résumé que du mica, du pyroxène et de l'orthose, de la microsommite, de la fluorine, peut-être de la périclase, minéraux qui se rencontrent dans les calcaires de la Somma ou dans leurs druses, peuvent prendre naissance dans des calcaires ou à leur contate par voie d'émanations, sans l'intervention directe d'une matière fondue. La théorie que j'ai proposée trouve ainsi un nouvel argument.

Les phénomènes métamorphiques, dont les blocs de la Somma ont été le siège, ne se sont donc pas produits suivant un mode unique.

Les uns résultent de l'englobement de fragments cal-

caires dans les laves trachytiques ou leucitiques[1] : mais dans ces transformations effectuées par voie de fusion, l'intervention de minéralisateurs paraît évidente et permet d'expliquer pourquoi les minéraux formés à la Somma dans ces conditions, diffèrent souvent de céux qui se produisent par voie de simple fusion dans les enclaves calcaires des roches volcaniques de diverses régions.

Les autres se sont produits par voies aqueuse et gazeuse, sous l'action d'émanations minéralisatrices s'exerçant non plus sur des roches arrachées et englobées par une lave fondue, mais sur des roches en place, ainsi que le démontrent les énormes blocs trouvés dans les tufs et les petits fragments entièrement modifiés, englobés dans des ponces, et dont les minéraux métamorphiques, distribués en zones, ne présentent aucune relation de position avec la forme extérieure de la roche considérée.

Il est probable, en outre, que dans bien des cas, les deux modes ont pu être combinés.

Pour terminer cette discussion, je résumerai dans un même tableau les types pétrographiques, formés aux dépens ou au contact des calcaires, en indiquant les principaux minéraux qui les constituent ; ceux qui ne se présentent que rarement sont écrits en *italiques*. Pour compléter ce tableau des produits cristallins de la Somma, il y aurait lieu de tenir compte des roches entièrement silicatées, basiques ou acides, formées directement dans le magma volcanique ; elles seront étudiées dans la deuxième partie. Quelques-unes des premières se rapprochent, au point de vue minéralogique, de B 1° *α*., les autres sont analogues aux agrégats B 2° *a* du tableau suivant.

1. C'est dans ce cas sans doute que se rencontrent les inclusions vitreuses à bulle, signalées par M. Mierisch dans la calcite d'un bloc calcaire de ce gisement.

Classification des produits de la Somma formés aux dépens de calcaires ou en relation avec eux.

A. Blocs calcarifères.	1° Calcaires sédimentaires intacts.			
	2° Calcaires sédimentaires calcinés.			hydrodolomite, calcite.
	3° Calcaires avec minéraux métamorphiques.	α. Calcaires zonés et drusiques. La paroi de la druse est composée d'une zone de pyroxène et de mica; on peut y distinguer deux parties :	*a*. Minéraux formés dans le calcaire.	péridots, humites, spinelle, mica.
			b. Minéraux formés dans les druses.	sanidine, néphéline, *phacélite*, sodalite, leucite, anorthite, wollastonite, méionite, hornblende, pyroxène, grenats, idocrase, mica, péridots, humites, spinelle, magnétite, *haüyne*, *outremer*, *cuspidine*, *fluorine*, *humboldtilite*, etc.
		β. Calcaires dans lesquels les minéraux métamorphiques sont disposés d'une façon quelconque.		mica, périclase, spinelle, humites, péridots, wollastonite, anorthite, humboldtilite, *blende*, *galène*, *pyrrhotine*, *molybdénite*, etc.

B. Blocs entièrement silicatés.	1° Blocs silicatés sans sanidine, résultant de la transformation d'enclaves calcaires ou de roches volcaniques.	α. Résultat de la transformation totale de calcaires.		anorthite wollastonite, pyroxène, mica, humites, péridots, spinelle, magnétite, haüyne, *apatite*, *phacélite*, *cuspidine*, etc.
		β. Roches leucitiques profondément endomorphisées par absorption d'enclaves calcaires. Ces roches ont parfois perdu leur aspect originel : elles sont très riches en pyroxène et souvent en néphéline (1).	*a*. Avec petites druses à structure zonaire (calcaires résorbés).	pyroxène, biotite, calcite, etc.
			b. Avec druses sans disposition régulière et très beaux cristaux.	sarcolite, humboldtilite, néphélines (davyne, cavolinite, microsommite, phacélite), wollastonite, mica, grenat, pyroxène, calcite, etc.
	2° Blocs silicatés à sanidine.	Agrégats de remplissage de druses. (Passages nombreux entre *a* et *b*).	*a*. Agrégats riches en éléments blancs (*sanidinites*).	sanidine. néphéline, sodalite, grenats (grossulaire et mélanite), idocrase, amphibole, pyroxène, sphène, *guarinite*, *fluorine*, *zircon*, etc.
			b. Agrégats riches en éléments ferrugineux.	grenat grossulaire, idocrase, amphibole, pyroxène, sanidine, néphéline, sodalite, etc.
	3° Blocs mixtes.	α. Partie basique résultant de la transformation de calcaires et correspondant à A 3° α. *a*. de ce tableau ; elle est séparée de β par une zone de pyroxène et de mica.		
		β. Partie acide correspondant à A 3° α. *b*. et représentant le remplissage de druses.		

1. Ces roches renferment souvent des fragments de calcaires qui contiennent quelques-uns des minéraux énumérés en A 3° β. (mica, pyroxène, anorthite, wollastonite, périclase, néphéline, etc.).

Champs Phlégréens. — Cratère de l'Astroni. — Au cours de mon voyage de 1893, j'ai trouvé à l'Astroni de très remarquables enclaves qui, à ma connaissance, n'ont pas encore été décrites.

Quand on descend dans le fond du cratère par le petit sentier, on trouve, en rejoignant en bas la route carrossable, un chemin qui conduit au milieu du cratère. Ce sentier, à quelques mètres de la route, a été taillé dans le *tuf trachytique*; c'est à ce point et à droite du chemin, que j'ai trouvé d'énormes blocs d'une roche à grands éléments, constituée par l'enchevêtrement de cristaux de humboldtilite atteignant parfois 0^{cm} 5.

A l'œil nu, en outre de la humboldtilite, on distingue de l'augite. Dans les nombreuses cavités de la roche, se trouvent de fines aiguilles transparentes d'apatite, et des prismes fibreux de phacélite.

Par places, la humboldtilite est colorée en jaune rougeâtre. Les cristaux fort nets présentent les formes p (001), m (110), h^1 (100), h^2 (310), b^1 (112); ils sont aplatis suivant la base, leur coloration est souvent plus intense à leur périphérie qu'à leur centre.

Quelques échantillons sont parcourus par des veines noires, à pâte fine et rugueuse, dans lesquelles se distinguent, à l'œil nu, des aiguilles blanches d'apatite et de phacélite.

Au microscope, la humboldtilite se montre en grands cristaux, à un axe négatif, présentant un clivage basique grossier, mais très répété. La biréfringence est plus grande sur les bords des cristaux qu'au centre, et d'autant plus grande que le minéral est plus coloré. J'aurai l'occasion de revenir dans un prochain travail sur les variations de biréfringence de ce minéral.

Dans les variétés colorées, le minéral est en lames minces d'un beau jaune d'or et très pléochroïque avec :

$\mathbf{n_g}$ = jaune d'or.
$\mathbf{n_p}$ = jaune pâle.

Les inclusions vitreuses à bulles sont très abondantes; elles manquent au contraire dans le pyroxène; celui-ci est une augite verte pléochroïque dans les teintes vertes et jaunes. Ce minéral semble être contemporain de la humboldtilite, il possède généralement des formes nettes.

L'apatite en longues baguettes est englobée par les minéraux précédents et se trouve également dans les géodes. C'est dans ces conditions que se présente la phacélite en cristaux, renfermant des inclusions vitreuses en forme de longs canaux, ou des aiguilles d'augite orientées parallèlement à l'axe vertical des prismes hexagonaux.

Enfin, les interstices miarolitiques de la roche sont souvent comblés par de la leucite, sans formes distinctes, montrant très nettement les macles polysynthétiques. C'est ce même minéral qui va être caractéristique des veines noires dont j'ai parlé plus haut.

Elles sont, en effet, essentiellement constituées par de la leucite, soit en grandes plages, soit en cristaux globuleux pressés les uns contre les autres et moulés par un mélange de haüyne et de humboldtilite, ou bien encore par de grandes plages de humboldtilite.

La haüyne, avec ses longues inclusions noires, entrecroisées en forme de grillage, est incluse dans la leucite ou disséminée, comme nous venons de le dire, dans l'intervalle des cristaux de ce même minéral. Elle forme alors des cristallites, très allongés, souvent grêles et parfois contournant d'une façon étrange les minéraux plus anciens qu'elle ; la humboldtilite qui se trouve dans ces assem-

blages est criblée d'inclusions ferrugineuses opaques parfois palmées, donnant au minéral un aspect scoriacé. Ces inclusions manquent généralement dans les grands cristaux de humboldtilite qui ne sont pas accompagnés d'haüyne.

Le pyroxène existe aussi dans ces agrégats soit en grands cristaux, soit en longues baguettes ressemblant à d'énormes microlites. Fréquemment, à sa périphérie, il se transforme en œgyrine.

Enfin, un peu de labrador s'observe par places en petites plages postérieures à la leucite.

L'apatite, la phacélite généralement calcifiée sont assez abondantes.

Cette roche noire est presque toujours imprégnée de calcite secondaire ; elle présente des aspects très variés suivant que la leucite est plus ou moins abondante et que son ciment cristallin est lui-même plus ou moins développé. Il existe des passages insensibles entre ces veines noires et la roche à humboldtilite dominante.

Cette dernière roche possède les caractères extérieurs et la composition minéralogique (pyroxène et humboldtilite), des scories fréquentes dans les fours à chaux où l'on cuit des calcaires siliceux.

Il est donc certain que les roches que je viens de décrire sont le résultat de la transformation de calcaires, sous l'action d'une roche volcanique dont les veinules noires leucitiques sont, sans doute, les témoins endomorphisés. Aucune roche à leucite n'est connue en place dans cette région, mais des fragments de *leucotéphrites* ont été signalés dans les tufs trachytiques de divers points des Champs Phlégréens et J. Roth[1] en a trouvé, notamment à l'ouest de

1. *Monatsber. d. k. p. Akad. d. Wissensch. Berlin.* 994, 1881.

Torre Lupara, sur les bords du cratère de l'Astroni. Il est possible que le métamorphisme de ces calcaires soit dû à des roches analogues. Je n'ai recueilli qu'un seul morceau de cette roche en contact avec une ponce trachytique. La zone de contact est formée par de longs cristaux d'augite vert foncé, au delà de laquelle le trachyte est extrêmement riche en petits grains d'augite jaune. L'enclave renfermant de la leucite, et la roche enveloppante n'en contenant pas, il faut supposer que le bloc a été englobé par le trachyte, alors qu'il était déjà métamorphisé par une roche différente, à moins que l'on ne regarde la leucite et l'haüyne comme un produit métamorphique, ce qui semble peu probable.

En outre de ces roches à humboldtilite, j'ai recueilli, dans les tufs trachytiques de l'entrée du cratère (près la maison du garde), un petit nodule d'environ 4^{cm} de diamètre, ayant la composition des blocs à forstérite de la Somma. Il est exclusivement formé par de grands cristaux de forstérite et par du spinelle violacé et verdâtre en lames minces. La roche, très caverneuse, est imprégnée de calcite secondaire.

Un autre échantillon est formé de pyroxène vert foncé, d'anorthite et de wollastonite en cristaux à formes nettes, accompagnés de beaucoup de petits prismes d'apatite. Tous ces minéraux sont noyés dans de la calcite microcristalline qui les imprègne et qui semble d'origine secondaire.

Monte Olibano. — Dans les grandes carrières de *trachyte* du Monte Olibano, et particulièrement dans celles que l'on trouve immédiatement après la halte du chemin de fer de Gerolomini, en allant à Pouzolles, j'ai recueilli, en même temps que les *sanidinites* étudiées plus loin, de petites enclaves constituées par du pyroxène vert foncé et un peu d'anorthite. Ces enclaves, généralement drusiques,

rappellent beaucoup celles de Santorin et ont probablement la même origine.

Iles de Procida et de Vivara. — Les *tufs trachytiques* de Procida renferment à la sortie même du port de la ville de Procida (marina de San Cattolico), en même temps que des *trachytes*, de très nombreux blocs de *sanidinites*, de *leucotéphrites* et enfin des *calcaires*, plus ou moins modifiés qui ont déjà été brièvement signalés par J. Roth [1]. Ce savant a trouvé des calcaires calcinés et renfermant parfois de l'idocrase.

Les nombreux échantillons que j'ai moi-même recueillis en 1893 sont assez différents de ceux étudiés par J. Roth.

Ces calcaires modifiés peuvent être rapportés à trois types.

Les plus rares de ces enclaves se rapprochent des calcaires zonés et drusiques de la Somma, bien que leur structure soit beaucoup moins régulière.

A l'une des extrémités d'un des échantillons que j'ai recueillis, des cristaux de péridot et de spinelle, tout à fait identiques à ceux de la zone intérieure des blocs drusiques de la Somma, sont disséminés dans de grandes plages de calcite, puis vient une zone constituée par des grains de spinelle et de péridot, englobés par des produits de décomposition d'un minéral disparu.

Le reste de la roche est formé par un agrégat de grands cristaux de humboldtilite, de grenat, de wollastonite, de pyroxène et d'anorthite, avec quelques octaèdres de spinelle verdâtre.

Les proportions relatives et la taille de chacun de ces éléments sont très variables d'un point à un autre. Les

1. *Monatsber. d. k. p. Akad. d. Wissensch. Berlin*, 1003, 1881.

cristaux atteignent parfois 0^{mm} 5, alors que dans d'autres parties de la roche, ils ont à peine 0^{mm} 10.

Un autre échantillon est drusique. Dans l'intérieur du calcaire, le péridot, entouré de petits grains de spinelle, est extrêmement abondant, et finit même au voisinage de la druse par constituer à lui seul la roche qui devient une véritable péridotite à laquelle se mêle un peu de pyroxène et de wollastonite.

La cavité drusique est bordée par une zone de humboldtilite sur laquelle s'appuie le remplissage de la druse, formé par une sanidinite de composition fort simple (sanidine dominante, avec un peu de pyroxène).

Enfin, au milieu d'un échantillon presque exclusivement formé de grenat avec un peu de pyroxène, de wollastonite, de humboldtilite et d'anorthite, j'ai trouvé une cavité remplie par de la sanidine, de la davyne, en grands cristaux à un axe positif, et du pyroxène.

Un petit fragment est composé d'un mélange à grands éléments d'anorthite, de wollastonite en partie calcifiés, et de très petits grains de pyroxène.

Notons, en terminant, que tous ces échantillons sont fortement chargés de calcite secondaire qui en rend souvent l'étude pénible.

Nous avons retrouvé ici quelques-uns des types décrits plus haut à la Somma. Ils se sont sans doute formés de la même façon. Les principales différences résident dans l'irrégularité des zones et dans la formation au sein même du calcaire de minéraux tels que le grenat, la wollastonite et la humboldtilite qui. à la Somma, ont été surtout constatés dans les druses, ou dans les calcaires dont les minéraux métamorphiques sont disposés sans ordre.

Quant aux sanidinites de remplissage des druses, elles ne renferment ni amphibole, ni grenat, ni idocrase.

Le second type est exclusivement constitué par du grenat et du pyroxène. Le grenat grossulaire forme de beaux cristaux jaune cannelle b^1 (110), a^2 (211), serrés les uns contre les autres; leurs intervalles sont comblés par du pyroxène peu abondant. Ces blocs ressemblent beaucoup à ceux que nous étudierons plus loin au lac de Bracciano, ainsi qu'aux calcaires dévoniens des Pyrénées, transformés au contact du granite.

Enfin le troisième type ne contient que de l'anorthite et du pyroxène, avec rarement un peu de sphène. Les blocs qui le constituent sont généralement rubanés. Le pyroxène vert foncé, pléochroïque en lames minces, est moulé par de l'anorthite grenue; souvent il reste un peu de calcite primaire. Ces roches offrent une frappante analogie avec quelques gneiss à pyroxène.

Parfois le pyroxène se présente en grains excessivement petits, pressés les uns contre les autres ; il est de couleur plus pâle que dans la roche précédente. L'anorthite forme généralement de grandes plages.

En terminant, notons que J. Roth [1] a signalé, dans les tufs trachytiques de l'île de Vivara, des calcaires faiblement dolomitiques, plus ou moins calcinés et renfermant de la périclase altérée. N'ayant pas visité cette île lors de mon voyage à Procida, je n'ai pas eu à ma disposition d'échantillons de ce gisement.

Ile d'Ischia. — Les *tufs trachytiques* du flanc nord de l'Epomeo renferment de petites bombes de sanidinite qui seront décrites plus loin, et des fragments de calcaire entièrement transformés.

J'ai examiné notamment plusieurs échantillons presque identiques. Je dois l'un d'eux à l'obligeance de M. Bassani;

1. *Op. cit.* 1004.

il provient des environs de Casamicciola. J'ai recueilli les autres au dessus de Lacco Ameno. Ils possèdent une composition minéralogique remarquable ; à l'œil nu, l'on constate que la roche est composée de grenat brun, de pyroxène vert à gros grains accompagnés d'éléments blancs ; au microscope, on voit que le pyroxène vert foncé et pléochroïque englobe quelques lamelles de mica noir ; il est lui-même moulé par le grenat, postérieurement auquel ont cristallisé de longues baguettes de wollastonite, plus ou moins calcifiées, et enfin de grandes plages d'anorthite et de méionite. Çà et là existe un peu d'apatite, et toutes les cavités de la roche sont remplies par de la calcite secondaire.

Un des échantillons est rubané ; il est formé de zones compactes constituées par un mélange à fins éléments de wollastonite et de grenat, et de zones à grands éléments, dans lesquelles, en outre des minéraux précédents, se rencontrent de gros cristaux de pyroxène vert, et de humboldtilite jaune qui englobe de petits grains de grenat. Çà et là subsiste un peu de calcite.

Massif de Roccamonfina. — Au dessus du village de Roccamonfina, et presque au sommet du Monte San Croce, j'ai recueilli, dans les *andésites à biotite*, de petites enclaves, très finement compactes qui me paraissent être des calcaires modifiés.

Elles sont, en effet, composées d'anorthite et de pyroxène associés à un peu de magnétite et de sphène. Les éléments sont excessivement fins ; le pyroxène et l'anorthite contiennent en abondance des inclusions liquides à bulles mobiles. Ces roches sont comparables comme structure à celles qui ont été signalées plus haut à Procida.

Dans les *tufs trachytiques*, non loin du village de Garofali, et sur le flanc d'un petit ravin conduisant à la Savone, j'ai trouvé, en même temps que des trachytes, des roches

à leucite et des sanidinites, une roche grenue à grands éléments (pyroxène et anorthite), identique à celles de Procida et de la Somma. L'anorthite est souvent peu abondante, formant de grandes plages qui englobent un grand nombre de grains pyroxéniques (structure pœcilitique).

Latium. — *Monts Albains et environs immédiats de Rome.* Les *tufs leucitiques* (peperino) des Monts Albains et des environs immédiats de Rome sont connus depuis longtemps des minéralogistes par les bombes, riches en minéraux, qu'ils renferment.

Ces minéraux ont été étudiés par de nombreux savants et en particulier par vom Rath [1], mais c'est à M. Strüver [2] que l'on doit le plus de documents à cet égard. Ce savant a, en effet, considérablement enrichi la collection de l'Université de Rome, jadis commencée par Spada, lui a donné une grande valeur en décrivant en détail les minéraux qu'elle contient et en montrant leur analogie avec ceux de la Somma, aussi me bornerai-je à renvoyer aux beaux mémoires de M. Strüver sans m'occuper des formes des minéraux de ces curieux gisements.

Je tiens à remercier ce savant de l'amabilité avec laquelle il a bien voulu, en 1887 et en 1893, me faire les honneurs de sa collection.

De même que pour les blocs de la Somma, les limites de ce travail ne me permettent pas d'entrer dans de longues descriptions pétrographiques, d'autant plus que je n'ai eu à ma disposition qu'une centaine d'échantillons, ramassés par moi-même en 1887, à une époque où, en visitant les Monts Albains, j'étais surtout préoccupé de rechercher des minéraux cristallisés. Mes échantillons, n'ayant pas été

1. *Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.* XVIII, 510, 1866.
2. *Atti Acc. dei Lincei*, 205, 1876, et *Zeitschr. f. Kryst.*, I, 225, 1877.

recueillis au point de vue spécial où je me place dans ce mémoire, ne représentent probablement pas tout ce que l'on pourrait trouver à cet égard. Ils proviennent des tufs de Marino, de Genzano, d'Albano, d'Ariccia, de Nemi, de Frascati et enfin des alentours de Tavolato près de Rome.

J'emploierai les mêmes divisions que pour les calcaires de la Somma, et je considèrerai successivement :

a) *Blocs calcaires.*
b) *Blocs dépourvus de calcaire.*

a) *Blocs calcaires.* — Les blocs calcaires sont très abondants dans le peperino de la Campagne romaine. Ils sont généralement plus ou moins calcinés. D'après vom Rath, ils renferment une quantité variable de magnésie, pouvant atteindre 24 0/0. Ils subissent les mêmes transformations que ceux de la Somma; ils se sont recarbonatés et généralement hydratés, donnant souvent naissance à de l'hydrodolomite.

Les échantillons partiellement silicatés sont relativement rares. J'ai recueilli, au dessus du lac d'Albano, un fragment de calcaire cristallin à apparence de marbre, dans lequel on ne distingue, à l'œil nu, aucun minéral métamorphique. Au microscope, on constate l'existence d'une quantité considérable d'octaèdres de *périclase*, généralement entourés d'une zone de calcite microcristalline; la periclase se transforme parfois en une matière fibreuse, à allongement positif, que j'ai rencontrée en abondance dans un même échantillon où elle semble avoir une même origine. Un peu de péridot (forstérite) accompagne la périclase. Ces calcaires sont absolument identiques aux calcaires à périclase de la Somma.

Contrairement à ce qui se passe dans ce dernier gisement, il n'existe pas dans le Latium (au moins à ma

connaissance) de blocs calcaires drusiques avec les zones silicatées régulières, décrites plus haut à la Somma, bien que beaucoup d'entre eux présentent une structure rubanée.

Vom Rath a signalé dans la collection de Rome un calcaire avec cristaux d'idocrase. M. Strüver a décrit le même minéral de couleur brun jaune avec mica vert, engagé dans la calcite; d'autres échantillons présentent, en outre, du pyroxène vert et du grenat brun.

J'ai recueilli à Ariccia un bloc calcaire renfermant en grande quantité des dodécaèdres b^1 (110) et des grains irréguliers de grenat mélanite, englobés dans de grands cristaux de pyroxène verdâtre associé à du mica brun clair; celui-ci forme soit de grandes plages, soit de petits nids de fines lamelles. Ces minéraux sont accompagnés à de haüyne d'un bleu verdâtre très clair. Les silicates sont par places dominants, seulement moulés par un peu de calcite, alors que dans d'autres points de la roche, c'est ce dernier minéral qui domine. Çà et là, on y observe, en outre, de gros cristaux d'idocrase jaune clair.

M. Strüver a indiqué l'existence de l'outremer soit en petites masses, soit en grains disséminés dans des blocs de calcaire dolomitique, et parfois associés à la pyrite. J'ai recueilli plusieurs échantillons de ce genre dans les carrières de peperino de Marino. La roche est un peu rubanée, à cause de la distribution en zone de l'outremer.

Au microscope, on constate que ce minéral, en plages irrégulières d'un bleu superbe, est associé à du pyroxène qu'il moule. Par places, le calcaire disparaît et l'on se trouve en présence d'une véritable pyroxénite à outremer, tout à fait identique, comme structure, aux roches du lac Baïkal; la pyrite est localement assez abondante.

Un de mes échantillons renferme, au milieu du cal-

caire, de petits fragments anguleux, à structure rubanée, et possédant une couleur bleue très intense. En lames minces, on constate que la périphérie de ces fragments est uniquement formée par de l'outremer avec un peu de pyroxène, ces mêmes minéraux se rencontrent clairsemés dans la masse même, à peu près isotrope. Il semble que ces fragments soient formés par un schiste argileux englobé par le calcaire au moment de son dépôt, et autour duquel il y a eu plus tard développement exagéré des minéraux métamorphiques.

b) *Blocs silicatés*. — La composition des blocs silicatés est très complexe et je les diviserai immédiatement en deux catégories, suivant qu'ils ne renferment pas de leucite ou au contraire qu'ils en contiennent.

α. Blocs sans leucite. — Les bombes appartenant à cette catégorie sont tout à fait analogues à quelques-unes de celles de la Somma, et il semble possible de les considérer comme formées dans les mêmes conditions, c'est-à-dire par transformation totale de calcaires.

Leurs éléments constituants sont le plus souvent disposés d'une façon quelconque, mais parfois la roche est rubanée. Quelquefois, ces bombes possèdent une structure zonaire rappelant vaguement celle des blocs mixtes de la Somma, grâce à la distribution des éléments colorés (mica, pyroxène) autour de minéraux incolores ou très clairs (olivine jaune paille), mais je ne crois pas, au moins dans mes échantillons, que cette structure soit due à la même cause que dans les échantillons de la Somma.

Les éléments les plus fréquents de ces blocs sont le pyroxène, le péridot, le mica et le spinelle. Le pyroxène est soit jaune verdâtre, grenu, friable, légèrement jaune en lames minces et à peine pléochroïque, soit, au contraire, vert presque noir. Le péridot est jaune paille et possède

les clivages et toutes les propriétés de celui de la Somma. Le mica est brun foncé, brun rouge ou vert ; le spinelle, vert foncé.

Quelques blocs sont formés exclusivement de mica ou de pyroxène, mais le plus souvent les quatre minéraux qui viennent d'être énumérés sont associés, formant des types pétrographiques très variés suivant l'abondance plus ou moins grande de chacun d'eux et suivant leurs dimensions relatives.

Le mica est généralement le minéral le plus récent et ses lamelles englobent parfois un grand nombre de grains des autres minéraux formant de larges lames à structure pœcilitique.

La composition de ces blòcs vient se compliquer par l'apparition du grenat jaune clair, de l'idocrase, de la humboldtilite et de la wollastonite. Ils sont parfois creusés de druses que tapissent des cristaux des éléments qui viennent d'être énumérés, ainsi que de quelques autres minéraux, magnétite, haüyne, riches en faces décrites par M. Strüver ; le pyroxène a la forme de la fassaïte.

Un de mes échantillons est formé de péridot jaune paille noyé dans de la calcite, formant des nodules entourés par des lamelles de mica verdâtre, qui sont intimement associées à de la humboldtilite. Ce sont les échantillons signalés plus haut qui rappellent les blocs mixtes de la Somma, auxquels on ne peut les comparer que si l'on considère les nodules à péridot comme le résultat de la transformation totale du calcaire, et le mélange de mica et de humboldtilite (disposés d'une façon quelconque) comme le résultat du remplissage total de druses.

C'est encore à ce groupe de bombes qu'il y a lieu de rattacher des associations d'augite vert clair à formes de diopside, de pléonaste et d'apatite et d'autres, constituées

par du pyroxène vert, de l'anorthite et un peu d'haüyne, associations minérales décrites par M. Strüver. D'après ce savant[1], l'anorthite est très rare aux Monts Albains. Ce fait est à opposer à l'abondance du même minéral dans les bombes similaires de la Somma. Tous les minéraux des roches que je viens de passer en revue renferment des inclusions vitreuses avec ou sans bulle.

A cette catégorie de blocs, on pourrait rattacher, malgré l'existence fréquente de la leucite, des roches riches en grenat et en haüyne généralement incolore ou de couleur très pâle. Le grenat ne se voit guère qu'au microscope en innombrables petits grains, se groupant pour former des agrégats légèrement contournés; plus rarement, on observe des dodécaèdres b^1 (110) nets. Ce grenat est jaune brunâtre en lames minces. Il est constamment associé à du pyroxène soit en gros cristaux dont les bords sont dentelliformes et entourent du grenat, de la haüyne, du mica, soit en petits grains rappelant les formes étranges du grenat. De la biotite en grandes plages est fréquente. Enfin, dans quelques blocs, j'ai observé du spinelle vert, de l'apatite, de l'anorthite en grandes plages, de la humboldtilite. Ce minéral forme de grands cristaux creusés de cavités, ou des agrégats de petits individus groupés de façon à former le squelette de grands cristaux qu'interpénètrent du mica, du grenat ou du pyroxène.

Tous les minéraux qui viennent d'être énumérés sont, le plus souvent, noyés dans de la haüyne incolore qui, suivant les échantillons, remplit seulement les intervalles laissés entre eux par les autres silicates pressés les uns contre les autres ou forme plus de la moitié de la roche.

Enfin, parfois, on voit apparaître des nids de sani-

1. *Zeitschr. f. Kryst.*, *op. cit.*, 243.

dine, ou de gros cristaux de leucite qui semblent parfois être venus remplir une cavité de la roche.

Ces roches sont souvent compactes, très tenaces. D'autres fois, au contraire, elles sont creusées de nombreuses géodes et c'est au milieu de ces dernières que l'on trouve les beaux octaèdres simples ou maclés d'haüyne incolore, désignée autrefois sous le nom de *berzéline*; le pyroxène drusique a la forme de la fassaïte. Tous les échantillons de ce type que j'ai étudiés proviennent d'Ariccia.

Dans la masse de quelques échantillons, les grains de pyroxène et de grenat entourent de petites formes globulaires remplies par un minéral monoréfringent incolore qui semble être de la leucite. Ces échantillons ne sont pas sans analogie avec les blocs à sarcolite de la Somma et il me semble probable qu'un grand nombre d'entre eux sont des laves leucitiques, profondément endomorphisées par absorption d'enclaves de calcaire.

β. Blocs à leucite. — Il nous reste maintenant à étudier les blocs à leucite. Nous avons tout d'abord à y distinguer des agrégats cristallins, rappelant ceux qui ont été décrits à la Somma comme remplissage des druses. Ils en diffèrent toutefois par la prédominance de la leucite sur les autres éléments.

Ils sont formés par des cristaux de leucite parfois moulés par un peu de sanidine en cristaux aplatis suivant g^1 (010) ; il existe souvent, en outre de la néphéline, de la sodalite et parfois de la haüyne ; le grenat mélanite et le pyroxène ne manquent presque jamais et sont souvent abondants soit en grains, soit en grands cristaux ; la biotite, la wollastonite et la humboldtilite viennent fréquemment les accompagner et compliquer la composition de ces roches.

Quand la haüyne existe, elle forme généralement des

cristaux nets, parfois riches en inclusions noires. Elle se trouve aussi dans la sanidine en cristaux d'une extrême petitesse, le plus souvent incolores.

Dans d'autres échantillons, la sanidine disparaît ; la roche devient plus riche en grandes lames de biotite et l'on rencontre en abondance de grandes plages d'anorthite et de wollastonite.

Toutes les bombes de cette catégorie peuvent être drusiques et renfermer de beaux cristaux de sanidine, de leucite, de néphéline, de sodalite, de grenat, d'idocrase, de hornblende, de biotite, de magnétite, de sphène, d'apatite, qui ont été décrits par M. Strüver. La hornblende est toujours rare, contrairement à ce qui a lieu à la Somma.

Enfin, ces dernières variétés, dépourvues de sanidine, nous conduisent à des roches ne renfermant plus que de la leucite et de l'augite avec un peu d'apatite. Ces roches sont de véritables leucitites holocristallines dont nous reparlerons plus loin. On peut se demander si ce ne sont point des roches ayant cristallisé en profondeur sans aucune relation avec les calcaires, si elles ne sont pas, par rapport aux leucitites du Latium, les homologues des sanidinites de profondeur de la Somma, alors que les variétés, riches en grenat et sanidine, sont les homologues des sanidinites, formées dans les druses calcaires du même gisement.

Il y a là matière à recherches intéressantes ; je regrette que les documents que j'ai entre les mains ne me permettent pas de faire autre chose que de poser la question. Ils montrent tout au moins, une fois de plus, combien peut être complexe le mode de formation de masses minérales très voisines de composition ; la nature arrivant souvent au même but par des moyens très variés.

Lac de Bracciano. — C'est à M. Strüver[1] que l'on doit la connaissance des agrégats minéraux des environs du lac de Bracciano, indiqués seulement par vom Rath[2]. M. Strüver a également trouvé des roches analogues sur la via Flaminia, au nord de Rome. Aux environs du lac de Bracciano, il les a cités spécialement au mont de la « Femmina Morta » près Césano, puis entre Anguillara et le lac de Martignano, et enfin au M^te S. Angelo, dominant la partie occidentale de la vallée de Baccano. Il a montré l'analogie de ces bombes avec celles des M^ts Albains et de la Somma. C'est entre Anguillara et S. Angelo que, sur les bienveillantes indications de M. Strüver, j'ai, cette année, recueilli les échantillons étudiés ici ; j'ai été aimablement accompagné dans cette course par M. Francchi.

De même que pour les minéraux des gisements précédents, M. Strüver s'est surtout occupé de la description cristallographique pour laquelle je renvoie à son mémoire.

Dans les tufs de la région du lac de Bracciano, se rencontrent des calcaires intacts et des calcaires cristallins ; je n'ai recueilli malheureusement qu'un très petit nombre de ces derniers et mes échantillons ne renferment pas de minéraux métamorphiques.

Les blocs qui doivent nous occuper ici sont donc tous silicatés et peuvent être divisés en trois catégories :

a) *Blocs sans sanidine.*
b) *Blocs avec sanidine.*

a) *Blocs sans sanidine.* — On peut y distinguer un certain nombre de types dominants entre lesquels existent, du reste, de nombreux passages.

Tout près du village d'Anguillara, on trouve en abon-

1. *Zeitschr. d. d. geol. Gesell.*, XVIII, 568, 1866.
2. *Memor. Acad. Lincei*, CCLXXXII, 1885.

dance des blocs constitués par du grenat jaune de cire; ils peuvent atteindre une taille considérable, ainsi qu'en témoignent les énormes échantillons du musée de Rome, recueillis par M. Strüver. Il n'est pas rare d'en rencontrer des morceaux pesant une vingtaine de kilogrammes. Ces grenats en bons cristaux, de la forme b^1 (110) dominante, sont pressés les uns contre les autres, et, dans leurs cavités, s'observent, le plus souvent, des cristaux de wollastonite, de jolis octaèdres simples ou maclés de haüyne bleue superficiellement blanchâtre, et enfin du pyroxène; la wollastonite forme fréquemment des masses fibreuses et le pyroxène des amas grenus.

Au microscope, on voit ces deux minéraux remplir les moindres interstices du grenat; la roche est remarquablement identique aux grenatites de contact du granite des Hautes-Pyrénées.

L'idocrase s'observe aussi dans ces blocs et, au milieu de l'un d'eux recueilli entre Anguillara et le lac de Martignano, M. Strüver a rencontré des cristaux de *sarcolite*, analogues à ceux de la Somma.

Un autre type de bombes est caractérisé par la prédominance de la wollastonite, en masses fibrolamellaires ou grenues. L'examen microscopique permet parfois seul de distinguer les minéraux qui l'accompagnent presque toujours, bien qu'en quantité très variable. Ces minéraux sont le pyroxène et l'anorthite, plus rarement le spinelle. La wollastonite est très souvent superficiellement transformée en calcite, mais le cœur des blocs est généralement à peu près intact.

Ces bombes peuvent être riches en grenat, et passer alors insensiblement aux blocs grenatifères qui ont été décrits plus haut.

La structure de ces roches riches en wollastonite est

des plus variables. Un type fréquent est composé par un mélange de pyroxène incolore ou un peu verdâtre en lames minces, par de la wollastonite et de l'anorthite. Tantôt la roche est à grands éléments bien calibrés et mélangés inégalement, tantôt il y a tendance à la disposition par zones du pyroxène, ou bien la wollastonite s'allonge par places et forme des couronnes autour d'un des autres éléments, pyroxène ou anorthite. Ces agrégats fibreux sont à grandes parties, ou constitués par des fibres très fines. Dans quelques échantillons, les cristaux ont des formes nettes, soulignées par de la calcite qui paraît secondaire et semble épigéniser un léger résidu vitreux.

Un échantillon à grains fins, recueilli sur le bord sud du lac de Martignano, est remarquable par l'abondance des spinelles verts en octaèdres nets [1]; le pyroxène incolore forme d'énormes plages englobant un nombre considérable de grains d'anorthite et de lamelles de biotite et de pyroxène. Cette même structure pœcilitique du pyroxène s'observe dans d'autres échantillons à grands éléments dont les grandes plages de pyroxène vert foncé, pléochroïque, renferment de nombreux cristaux de wollastonite, d'anorthite et d'haüyne. Ce dernier minéral existe aussi en plages irrégulières, postérieures à tous les éléments de la roche.

Un bloc provenant de San Angelo est formé de wollastonite, de pyroxène vert foncé, pléochroïque, et d'anor-

1. Je dois à l'obligeance de M. Moderni une petite enclave, englobée par le basalte du cône de Torre Alfina, au nord du lac de Bracciano. Elle est très analogue à celles qui sont décrites ici; elle est rubanée et formée de zones d'anorthite et de pyroxène incolore en lames minces. Tous ces éléments sont grenus et bien calibrés. Il existe un peu de mica blond pâle et de gros octaèdres de spinelle. Il est facile de voir que cette enclave ne s'est pas formée en place dans le basalte qui la corrode en s'injectant dans ses fissures.

thite prédominante; la roche est franchement grenue et ressemblerait à un gneiss à pyroxène, si l'on ne percevait çà et là quelques traces de verre, jalonnant des pointements nets d'augite.

Il faut signaler en outre des blocs fragiles, à pyroxène vert clair et anorthite, identiques à ceux de la Somma. Ils renferment seulement du mica et un peu de calcite. L'un de ceux que j'ai recueillis sur la rive E. du lac de Martignano renferme dans ses druses de beaux cristaux d'anorthite.

Un échantillon provenant d'Anguillara contient des cristaux porphyriques de biotite et de pyroxène entourés par des cristaux raccourcis d'anorthite, serrés les uns contre les autres et cimentés par un peu de verre. Les feldspaths et le pyroxène sont riches en inclusions vitreuses. La roche renferme un peu d'apatite et possède une structure analogue à celle qui est représentée par la fig. 6 de la pl. IV.

De même que dans tous les gisements précédents, on rencontre des blocs constitués par du pyroxène et du mica, seuls ou associés. Le pyroxène est tantôt vert foncé et à gros grains, tantôt jaune verdâtre et friable. Dans les druses, il présente les formes de la fassaïte, il est souvent accompagné de cristaux nets de mica, de magnétite, de spinelle, de haüyne, de calcite en cristaux superficiellement corrodés.

Tous les blocs qui viennent d'être décrits sommairement peuvent être considérés comme le résultat de la transformation totale de calcaires. L'abondance de la haüyne est un trait commun avec les bombes des M[ts] Albains. Le plus souvent, ce minéral semble s'être formé le dernier dans les cavités de blocs déjà silicatés. Parfois, ces blocs peuvent présenter une structure rubanée, due soit à

la disposition en lits des éléments colorés, soit à la coexistence, dans un même échantillon, de zones appartenant à divers des types énumérés plus haut.

b) *Blocs à sanidine.* — Les *sanidinites* sont très abondantes dans la région qui nous occupe. Elles présentent des particularités fort remarquables et tout à fait spéciales. Leur composition minéralogique, sur laquelle je reviendrai dans la seconde partie de ce mémoire, est analogue à celle des sanidinites de la Somma. Les cristaux de sanidine, aplatis suivant g^1 (010), sont enchevêtrés les uns dans les autres et moulés par de la sodalite, de la néphéline. Il existe toujours plus ou moins de pyroxène, de mica, de sphène, d'apatite. On y trouve parfois du grenat.

A la Somma, nous avons vu que les sanidinites se présentent souvent en blocs, indépendants des calcaires, alors que, dans d'autres cas, on pouvait assister à la formation de roches similaires dans les cavités des calcaires; les sanidinites ainsi produites sont riches en minéraux spéciaux dont le grenat mélanite est le plus fréquent. Souvent enfin, on rencontre, éparses dans les tufs, des roches de composition semblable qui, selon toute probabilité, ont été formées dans les mêmes conditions.

Dans la région de Bracciano, il existe aussi des sanidinites qui semblent pouvoir être considérées indépendamment des calcaires modifiés, alors que d'autres, au contraire, sont en relation avec eux. Mais ces relations paraissent être inverses de celles que nous avons constatées à la Somma.

En effet, près d'Anguillara, au lac de Martignano et surtout au pied du M[te] San Angelo, j'ai recueilli des blocs de sanidinite, renfermant du grenat mélanite dans leur masse et creusés de cavités atteignant la grosseur du poing, cavités dont la paroi seulement est recouverte, dans un

cas par des cristaux de pyroxène vert clair et dans la plus grande généralité par de beaux cristaux de grenat jaune de cire, identiques à ceux qui ont été signalés plus haut en masses indépendantes.

Il ne me semble pas douteux que ces cavités et les minéraux qui les bordent n'occupent la place de fragments de calcaire, englobés en profondeur dans le magma dont la

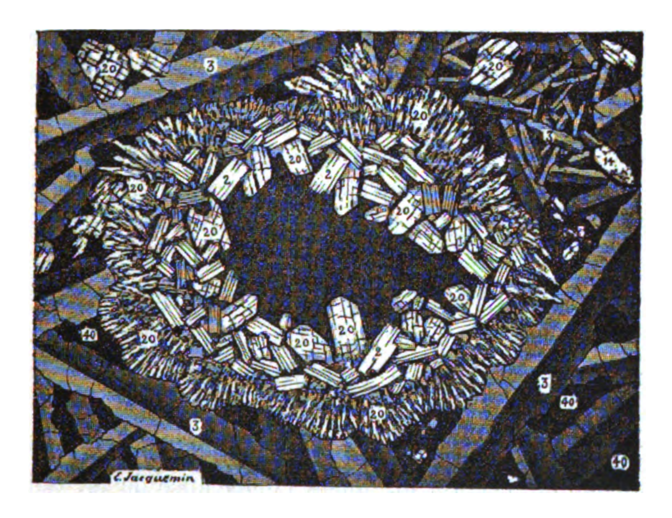


Fig. 25. — Sanidinite de S. Angelo constituée par de l'orthose (3), du pyroxène (20), du sphène (14) et de la sodalite (40). Au milieu de la figure, s'observe une géode tapissée de cristaux de pyroxène (20), reposant sur une zone de mica qui, elle-même, recouvre du pyroxène cristallitique (20) en contact avec la sanidinite.

cristallisation totale a donné naissance à la sanidinite. J'ai recueilli tout près du M[te] San Angelo et sur le flanc ouest des collines conduisant au M[te] San Andrea, des sanidinites friables qui présentent des particularités très remarquables, venant à l'appui de cette opinion. On y observe, en effet, de nombreuses petites géodes qui offrent une structure zonaire régulière (fig. 25).

Du côté de la sanidinite, il existe une couronne de fines

baguettes d'augite appliquées plus ou moins normalement à la paroi, puis vient une zone de biotite dont les cristaux se développent librement dans la cavité drusique. Ils sont fréquemment recouverts de jolis petits cristaux de pyroxène, de sphène, de néphéline, etc. La disposition de la zone de pyroxène, en contact avec la roche, montre avec évidence qu'elle est contemporaine de la cristallisation du feldspath.

On reconnaît facilement, dans cette description, la structure que présentent les petites enclaves calcaires, englobées dans les blocs à sarcolite de la Somma.

Lac de Vico. — M. Strüver a signalé[1] l'existence du spinelle dans les tufs du Monte Soriano, le grenat jaune dans ceux de Ronciglione, et enfin l'idocrase aux Monti Cimini. Ces minéraux proviennent de la transformation de calcaires. M. W. Deecke, dans un mémoire sur les roches des environs de Viterbe, a décrit plus en détail[2] des bombes de grenat et d'idocrase provenant des tufs du cratère de Vico. D'après ce savant, ces blocs sont surtout abondants aux environs de la petite chapelle de San Rocco et au Monte Venere. Je dois à l'obligeance de M. Cohen un échantillon de ces roches à idocrase, j'en ai moi-même recueilli un certain nombre, ainsi que des échantillons, appartenant à un type non encore décrit dans cette localité. J'ai ramassé mes échantillons dans les localités citées par M. Deecke et en ai retrouvé dans un grand nombre de points, sur le bord nord du cratère de Vico, et jusqu'au pied du Monte Cimino.

Je classerai ces enclaves en trois groupes.

Le premier est constitué par les roches décrites par

1. *Atti. R. Acad. Lincei,* Série IV, I, 1885.
2. *Neues Jahrb.*, Beil. Bd. VI, 218, 1889.

M. Deecke. Ce sont des bombes de couleur claire, gris blanches à jaunâtres ou verdâtres présentant parfois des cavités tapissées de grenat grossulaire [b^1 (110), a^2 (211)] et d'idocrase dont la couleur varie du brun au vert foncé. M. Deecke a trouvé, dans les cristaux qu'il a étudiés, les formes suivantes : *m* (110), h^1 (100), h^2 (310), *p* (001), $b^{1/2}$ (111), a^1 (101), ($b^{1/2}b^{1/4}h^1$) (311). Il a, en outre, constaté que ce minéral était à un axe *positif*. M. Deecke a signalé une transformation d'idocrase en zéolites que je n'ai pas observée dans mes échantillons.

Dans les enclaves que j'ai examinées, l'idocrase forme des cristaux nets ou de grandes plages, englobant le grenat, qui lui-même contient de petits grains de pyroxène vert clair, ou est moulé par eux. Une petite quantité d'anorthite est postérieure à tous ces minéraux. La structure de ces blocs correspond tout à fait (avec l'idocrase en plus), à celle qui a été signalée plus haut dans le premier type des calcaires modifiés de Procida.

Le second groupe d'enclaves du lac de Vico dont j'ai recueilli des échantillons en beaucoup plus grande abondance, est tout à fait comparable au second type des enclaves de Procida, mais les roches qui le constituent sont à beaucoup plus grands éléments. Elles sont formées par un mélange extrêmement cristallin et très friable d'anorthite et d'augite. Ces minéraux renferment parfois des inclusions vitreuses et des inclusions liquides à bulles. Quelques échantillons contiennent en outre un peu de mica noir, et plus rarement, de très gros spinelles d'un vert foncé. Ce dernier minéral est généralement englobé dans de l'anorthite, souvent séparée du reste de la roche par de grandes lames de biotite.

La nature du feldspath permet aisément de distinguer ces bombes basiques des *sanidinites*, riches en augite, que

l'on rencontre dans le même gisement et que nous aurons l'occasion d'étudier plus loin.

Le troisième groupe d'enclaves est plus rare; il est constitué par des roches formées de grenat brun foncé en grandes plages irrégulières, autour desquelles on observe une grande quantité de petits grains, à contours sinueux, du même minéral. Ils sont distribués dans de grandes plages d'anorthite et forment, avec ce minéral, une sorte de pegmatite analogue à celle que j'ai décrite dans des gneiss pyroxéniques de la Loire-Inférieure [1], mais beaucoup plus régulière. Un peu de pyroxène accompagne le grenat sous les deux formes qui viennent d'être décrites. Enfin, dans l'anorthite, on rencontre des moules arrondis ou allongés à apparence fibreuse, constitués par une substance monoréfringente : elle occupe la place d'un minéral dont il ne m'a pas été possible de déterminer la nature.

Toscane. — *Lac de Bolsena*. Vom Rath a signalé [2], dans les tufs de Corte del Re, près de Pitigliano, aux alentours du lac de Bolsena, des bombes composées de grenat jaune de cire, avec ou sans pyroxène et idocrase brun verdâtre. Elles semblent très analogues à celles du lac de Bracciano. Je n'ai eu l'occasion de voir aucun échantillon de ce gisement.

1. *Bull. Soc. minér.*, XII, 123 et fig. 16, 1889,
2. *Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.* XX, 279, 1868.

DEUXIÈME PARTIE

ENCLAVES HOMŒOGÈNES

(*Enclaves de roches en rapport de composition et d'origine avec la roche englobante*).

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES FORMES GRENUES ET DES SÉGRÉGATIONS DES ROCHES VOLCANIQUES

CHAPITRE PREMIER

ENCLAVES HOMŒOGÈNES DES ROCHES TRACHYTOÏDES

Les enclaves homœogènes des roches trachytoïdes étant généralement d'une interprétation plus facile que celles des roches basaltoïdes, je consacrerai le chapitre premier à leur étude qui pourra nous guider dans l'examen des enclaves similaires des roches basaltoïdes.

La nature des enclaves homœogènes d'une roche volcanique est fonction de la composition minéralogique de cette dernière, aussi est-il nécessaire d'établir ici des divisions plus nombreuses que pour l'étude des enclaves enallogènes des mêmes roches. Je passerai successivement en revue :

§ I. Trachytes et andésites acides avec ou sans biotite ou hornblende.

§ II. Trachytes à œgyrine.

§ III. Trachytes à haüyne.

§ IV. Phonolites et leucitophyres.

§ V. Tufs trachytiques et leucitiques de l'Italie méridionale et centrale.

Dans la plupart de ces roches, nous rencontrerons des enclaves grenues généralement holocristallines, ayant sensiblement la composition de la roche volcanique englobante, et d'autres contenant souvent un peu de verre et formées soit par quelques-uns seulement des éléments de la roche englobante, soit par des éléments plus basiques que ceux de cette dernière.

I. — Trachytes et andésites acides avec ou sans biotite ou hornblende.

Résumé et conclusions. — Les *trachytes à biotite et hornblende* renferment assez fréquemment des enclaves grenues, presque exclusivement constituées par de l'orthose ou de l'anorthose ; je les désignerai sous le nom de *sanidinites*. Elles sont surtout abondantes dans les variétés de trachyte, elles-mêmes pauvres en éléments colorés.

La composition de ces sanidinites est simple ; en outre des feldspaths acides cités plus haut, on y rencontre parfois un feldspath calcosodique ; les éléments ferrugineux (mica, hornblende brune et pyroxène) y sont généralement clairsemés [Menet, Monac (Cantal), Monselice (Monts Euganéens)] et souvent même absents. Les cristaux prismatiques rouges de zircon, pouvant atteindre $0^{cm}\,5$, y sont très fréquents et sont généralement accompagnés de gros cristaux de sphène ; plus rarement on y rencontre du corindon (Menet).

La structure de la roche est très souvent miarolitique ; par suite de l'aplatissement des feldspaths suivant g^1 (010) et de l'enchevêtrement de leurs lamelles, il existe alors un grand nombre d'interstices qui rendent la roche très fragile ; ils sont souvent tapissés de minéraux bien cristallisés, zircon, sphène, apatite, magnétite, qui ne doivent

pas être considérés comme primaires, mais qui se sont produits sous l'influence d'émanations minéralisatrices ayant, selon toute vraisemblance, accompagné la venue au jour de la roche volcanique englobante. Les cristaux de zircon et de sphène ont souvent des formes assez différentes de celles qu'ils présentent dans la masse même de la sanidinite. On y trouve aussi parfois un minéral du groupe de la wernérite (Procida).

La structure miarolitique de ces enclaves rappelle celle de certaines syénites anciennes de Norvège; elle n'est point constante dans les sanidinites dont beaucoup sont franchement grenues (Pl. V, fig. 4).

Dans quelques gisements italiens (Monte Olibano, et île de Procida), j'ai observé, en outre, des sanidinites à grands éléments passant par gradations insensibles à des roches finement grenues : celles-ci contiennent parfois de grands cristaux porphyroïdes et offrent alors une structure à deux temps, tout à fait comparable à celle des *microgranites*. J'ai désigné ces roches sous le nom de *microsanidinites* (fig. 28), les comparant à une forme de contact de la syénite néphélinique de Montréal que j'ai décrite sous le nom de *microsyénite*. Notons que, comme dans ce dernier gisement, ces microsanidinites sont souvent assez riches en augite et en grenat mélanite.

Il est impossible de n'être pas frappé par l'analogie complète qui existe entre les minéraux constituant ces sanidinites et ceux de la roche volcanique englobante. De plus, la composition moyenne de celle-ci est tout à fait comparable à celle de sa sanidinite. L'étroite parenté existant entre ces deux catégories de roches étant établie, et, d'autre part, la structure grenue ne se présentant pas dans les roches volcaniques acides venues au jour, il est logique d'en conclure que les sanidinites proviennent de la cris-

tallisation intratellurique du magma qui s'est épanché sous forme de roche microlitique. Le trachyte et sa sanidinite ne diffèrent donc que grâce aux conditions différentes qui ont présidé à leur cristallisation mutuelle.

Les variations de structure des sanidinites prouvent de plus que les conditions dans lesquelles se sont effectuées leur cristallisation n'ont pas été constantes dans les divers gisements considérés. On trouve même qu'elles ont pu varier pour les échantillons d'un même gisement (Procida, Monte Olibano). Les relations mutuelles des sanidinites miarolitiques et des microsanidinites sont les mêmes que celles que M. Michel Lévy a signalées [1] entre les granites et les microgranites de Ste Foy l'Argentière (Rhône), le granite se transformant en microgranite quand il s'injecte dans le micaschiste.

L'existence du grenat mélanite, commune aux microsanidinites de Procida et aux microsyénites de Montréal, semble confirmer cette interprétation de l'origine de la structure des microsanidinites, et indiquer, en outre, que c'est à proximité d'une paroi calcaire, dont on trouve des traces dans les bombes calcaires décrites p. 330, que s'est effectuée leur consolidation.

Ceci étant posé, on peut se demander si ces cristallisations intratelluriques ont donné naissance à de véritables roches solides en place, ou si elles n'ont consisté qu'en éponges cristallines, agglomération de grands cristaux, nageant dans le magma volcanique encore plastique. Bien que dans beaucoup de cas, le problème ne paraisse pas susceptible d'une solution satisfaisante, dans quelques-uns d'entre eux, au contraire, la question peut être discutée.

C'est ainsi, par exemple, qu'à Menet et à Monac, les feldspaths des sanidinites sont criblés d'inclusions gazeuses

1. *Bull. Soc. géol.*, 3e sér., XVI, 222, 1887.

ne pouvant être distinguées de celles qui se sont formées par action de la chaleur dans les éléments de roches anciennes englobées par le même trachyte. Ces inclusions gazeuses manquent dans les grands cristaux feldspathiques indigènes du trachyte. Dans ces cas particuliers, il n'est donc pas possible d'admettre que les sanidinites soient le résultat de la simple agglomération de grands cristaux du stade intratellurique du trachyte.

De plus, les feldspaths de ces sanidinites ont subi des corrosions profondes, suivies de recristallisations ; le mica est altéré, et de la même façon que dans les enclaves de roches anciennes qu'on rencontre en même temps en enclaves.

Ces altérations sont le résultat de l'action de la chaleur (sur le mica) ou de corrosions chimiques qui ne peuvent pas être mises exclusivement sur le compte du magma trachytique environnant, mais qui doivent être surtout attribuées à des émanations minéralisatrices ayant accompagné l'englobement de l'enclave par le trachyte. En effet, si à la périphérie de l'enclave, on voit bien cette dernière pénétrée et corrodée par le trachyte, dont les éléments viennent largement cristalliser dans ses fissures et ses cavités naturelles, au centre même de l'enclave on rencontre des recristallisations sur les parois de géodes, dans lesquelles n'a certainement pas pénétré de matière trachytique. C'est ainsi par exemple que l'on voit dans les géodes des sanidinites d'un très grand nombre de gisements, des cristaux de zircon, de sphène, d'apatite, etc. C'est ainsi qu'à Procida et à Ischia, se développent au milieu des sanidinites de grands cristaux de wernérite, que dans quelques-unes de celles du Monte Olibano se sont formés des cristaux de sodalite [1].

1. A Procida et au Monte Olibano, les mêmes minéraux se sont produits sous l'action d'émanations volcaniques dans les trachytes et postérieurement à leur consolidation.



Si les sanidinites avaient formé des espèces de *glaçons* au milieu du magma trachytique, on observerait des corrosions effectuées à la périphérie de l'enclave, mais aucun de ces phénomènes complexes qui se produisent dans les druses et d'une façon uniforme dans tout l'échantillon. Ils s'expliquent bien dans l'hypothèse d'une roche solide, brusquement amenée dans un magma visqueux en présence d'émanations minéralisatrices pouvant s'emmagasiner facilement dans l'enclave, grâce à sa porosité et à sa richesse en interstices miarolitiques.

Quoi qu'il en soit, les phénomènes d'endomorphisme, signalés plus haut, montrent que la cristallisation de ces roches grenues a pu, dans certains cas, s'effectuer à une profondeur relativement faible, puisqu'elles ont été endomorphisées par des calcaires secondaires ou tertiaires [1].

A côté des phénomènes de recristallisation qui viennent d'être cités et qui se sont vraisemblablement produits à haute température, comme en vase clos, s'en ajoutent souvent d'autres, effectués à température plus basse et consistant en formation de calcite ou de quartz. Quand les interstices miarolitiques d'une sanidinite se remplissent de quartz secondaire, on se trouve en présence de roches ayant la composition et la structure d'une roche granitique et l'on aurait quelque peine à les distinguer d'une roche ancienne, si, dans un gisement donné, la quartzification était uniforme. C'est ce qui a lieu pour un seul des gisements étudiés (Islande) dont les sanidinites, longtemps considérées comme des roches spéciales, ont reçu le nom de *krablites*. Le quartz y prend la forme de micropegma-

1. On trouve aussi, mais plus rarement, des roches analogues aux sanidinites et formées, soit par sublimation autour d'enclaves de roches volcaniques (p. 250), soit par recristallisation d'enclaves quarzofeldspathiques en partie résorbées (p. 357).



tite. L'origine secondaire d'une partie au moins de ce quartz me paraît probable; son abondance dans ces sanidinites pourrait du reste s'expliquer en dehors de cette hypothèse par l'acidité très grande des trachytes dont, selon toute vraisemblance, ils constituent la forme grenue.

A côté de ces *sanidinites* que je considère comme représentant la forme grenue de la roche englobante, se trouvent d'autres enclaves plus basiques. Elles peuvent dériver des sanidinites par le développement abondant dans ces dernières des éléments ferrugineux et l'apparition de feldspath calcosodique qui peut même devenir le feldspath unique de la roche, mais le plus souvent, elles paraissent indépendantes des sanidinites.

Peu abondantes dans les *trachytes* acides, riches en enclaves de sanidinites, elles se présentent presque exclusivement dans les trachytes qui contiennent beaucoup d'éléments colorés et surtout dans les *andésites à hornblende* et *à pyroxène*.

Ces roches, dans lesquelles l'élément ferrugineux dominant est la hornblende brune, renferment en outre, de l'augite, de la biotite, de la magnétite, de l'apatite et du sphène; le feldspath, suivant les gisements, oscille entre l'oligoclase et la bytownite. La structure est parfois miarolitique, mais dans les interstices, on voit très souvent un résidu vitreux; les roches de ce type ressemblent aux *diorites* filoniennes, accompagnant les andésites (porphyrites) amphiboliques anciennes; comme elles, elles ont une tendance à prendre la forme microlitique. Plus rarement, ces roches sont à grands éléments et présentent parfois la structure ophitique; elles ressemblent à des *diorites-diabases* intrusives anciennes. Il existe souvent des inclusions vitreuses dans leurs divers éléments.

Ces enclaves basiques forment généralement des blocs

peu volumineux, arrondis, et parfois, elles passent insensiblement à la roche englobante ; dans quelques gisements on rencontre des échantillons dans lesquels il est possible en quelque sorte, d'assister à la formation de ces enclaves holocristallines. Les phénomènes de corrosion sont souvent peu intenses, ils sont du même ordre que ceux qui ont modifié les grands cristaux de la roche volcanique. Les minéraux attribuables à des émanations manquent dans les cavités de ces enclaves.

Pour toutes ces raisons, je les considère comme des ségrégations effectuées en profondeur dans la roche qui les englobe, ségrégations se rapprochant d'autant plus de la composition moyenne de la roche englobante qu'on les considère dans une roche plus basique. C'est ainsi, par exemple, que les enclaves basiques du trachyte à anorthose du Cantal ont une composition très éloignée de la composition moyenne de ces roches volcaniques, alors que celles des andésites à hornblende et augite de la même région en sont, au contraire, assez voisines.

Nous verrons que ce fait est général et qu'il s'accentue dans les roches plus basiques.

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme*. J'ai décrit, page 142, des enclaves de *sanidinites* recueillies dans l'*andésite augitique* de Volvic et dans le *basalte* du Puy Gros : je les considère comme étroitement liées aux *trachytes acides* de cette région.

Ces roches, constituées presque exclusivement par de l'orthose et de l'anorthose, contiennent parfois du zircon, du pyroxène, du mica noir : elles sont en tous points semblables aux sanidinites du Cantal.

C'est sans doute aussi à la même catégorie de produits qu'il faut rattacher un échantillon que j'ai recueilli dans

les tufs basaltiques du Chuquet Genestoux, avec les roches anciennes dont il a été question page 61.

Cet échantillon est en grande partie formé par de l'orthose, du feldspath triclinique acide et du mica noir, transformés en produits ferrugineux, sous l'action de la haute température à laquelle la roche a été soumise au moment de son arrachement par l'éruption basaltique.

Cette enclave possède la structure miarolitique, mais presque tous ses interstices sont remplis par du quartz; aussi offre-t-elle quelque analogie avec une roche granitique ancienne. Toutefois, les détails de sa structure me portent à ne pas accepter cette hypothèse et à considérer ce quartz comme secondaire : cette enclave est sans doute une sanidinite des *trachytes à biotite* (dômites) qui abondent au voisinage du Chuquet Genestoux; elle est à comparer, comme composition, structure et mode de gisement, aux *krablites* d'Islande, dont il sera question plus loin.

Mont-Dore. — Les *tufs acides* du Mont-Dore, aussi bien que les divers *trachytes* et *andésites acides* de cette région renferment très fréquemment des enclaves à structure grenue ou miarolitique[1], que je considère comme des ségrégations basiques.

a) *Sanidinites.* — Les sanidinites y sont rares[2]. On a vu en outre, p. 250, qu'au roc de Cuzeau on trouve des roches très analogues aux *sanidinites* qui se sont formées par sublimation autour d'enclaves de trachytes (Pl. V, fig. 7).

b) *Enclaves basiques.* — La coexistence sur un même point de roches volcaniques de composition assez différente, rend difficile l'attribution de ces enclaves basiques

1. Ces enclaves se rencontrent surtout dans les *trachytes* et les *trachyandésites à sanidine*, parfois augitiques et souvent riches en olivine. Voir M. Michel Lévy. *Bull. Soc. géol.*, 3e sér., XVIII, 805, 1890.

2. Voy. à l'appendice; je n'ai trouvé ces sanidinites qu'au moment de la mise en page.

à telle ou telle de ces roches, quand les enclaves en question se rencontrent dans les tufs. Cette distinction n'aurait du reste qu'un médiocre intérêt : ces roches volcaniques, en effet, présentent dans leurs éléments, et particulièrement dans ceux qui leur sont communs avec les enclaves en question, une remarquable analogie, et il n'est pas douteux qu'elles proviennent toutes de la différenciation d'un magma unique.

Le type le plus fréquent que j'ai recueilli au Capucin, à Riveau Grand, dans la vallée de la Cour, et dans celle de Chaudefour, au Val d'Enfer, dans le ravin des Egravats, au sommet du Sancy, etc., est essentiellement composé de hornblende et de feldspath triclinique. La hornblende est brune, très pléochroïque et généralement très biréfringente, formant des cristaux très allongés à formes nettes et souvent creux : le feldspath est, suivant les échantillons, de l'andésine ou du labrador; il englobe la hornblende et renferme souvent d'innombrables aiguilles d'augite[1]; il existe enfin de l'apatite, de l'augite en grands cristaux automorphes, et toujours de la magnétite.

Cette roche est quelquefois grenue, mais souvent aussi très miarolitique. Ses interstices sont généralement privés de cristaux drusiques. Enfin, quelquefois, on y observe un léger résidu vitreux. On peut comparer ces sortes de *diorites* à celles qui accompagnent en filons les *andésites* (*porphyrites*) *amphiboliques* antetertiaires du Plateau Central de la France. Il n'est pas rare de voir, du reste, des échantillons dans lesquels les feldspaths ont une tendance à devenir microlitiques : la roche présente alors une certaine analogie avec l'*andésite amphibolique* filonienne de l'entrée du Val d'Enfer[2].

1. J'ai déjà décrit cette roche et l'ai figurée : *Bull. Soc. géol.*, XVIII, pl. XXVI, fig. 4, 1890.
2. Michel Lévy, *Op. cit.* p. 839.

Les roches qui nous occupent ont été désignées, par Lecoq, sous le nom de *trachyte amphibolifère*; elles ont été également signalées par von Lasaulx, et appelées par lui *trachyte de déjection*. D'après ce savant[1], le feldspath dominant serait de la sanidine. Parmi les échantillons que j'ai examinés, un seul contenait un peu d'orthose et beaucoup d'anorthose : la hornblende était accompagnée de beaucoup d'augite et de peu de biotite. Cette roche s'éloigne du type habituel, et se rapproche des sanidinites basiques qui seront étudiées plus loin à Menet.

Je rapporte, avec réserve, à cette même catégorie d'enclaves, une roche recueillie par M. Michel Lévy, aux Arnats[2], dans un bloc erratique d'andésite, et une autre trouvée par M. Fouqué à Bafaud, près Chastreix. Ce sont des roches à grands éléments, constituées par un mélange grenu de biotite, d'hornblende brune, d'augite et de labrador, avec de l'apatite et de la magnétite. Il y a souvent tendance à la structure ophitique; par leur structure et leur composition minéralogique, ces roches rappellent les diorites-diabases anciennes, elles pourraient être le résultat de cristallisations en profondeur d'*andésites* à hornblende plus basiques que les roches qui nous occupent ici.

Enfin, en terminant, je signalerai un échantillon du Capucin assez analogue à ceux dont j'ai parlé page 186, et que je considère comme provenant de la transformation d'enclaves enallogènes. Il est essentiellement formé par du labrador, englobant de gros cristaux d'apatite, de l'hypersthène cristallitique, des grains d'olivine, et enfin beaucoup de paillettes de biotite. Il semble se rapporter à la catégorie d'enclaves étudiées dans ce chapitre, bien qu'il

1. *Etudes pétrographiques sur les roches volcaniques de l'Auvergne.* Traduction de M. Gonnard. Clermont, 1875, p. 96.

2. A. Lacroix. *Op. cit.*, pl. XXVI, fig. 5.

ne soit pas possible d'en faire la démonstration rigoureuse.

Cantal. — Menet. Les enclaves quartzofeldspathiques de Menet ont été décrites plus haut. J'ai à étudier ici les roches grenues, non quartzifères, très abondantes dans les carrières de Lieucamp et de Menoyre[1], en blocs de dimension variant depuis la grosseur d'une noix jusqu'à trente centimètres de diamètre.

Ce sont des roches blanches, formées en grande partie de feldspath vitreux, ayant en moyenne un ou deux millimètres de plus grande dimension, et au milieu duquel on trouve, disséminés en petite quantité, du mica noir, des bisilicates, de beaux cristaux de zircon rouge et de sphène jaune de miel. La structure de la roche est fréquemment miarolitique : les cristaux de feldspath aplatis suivant g^1 (010), sont alors enchevêtrés et limitent des cavités dans lesquelles ils font saillie. Accidentellement, on rencontre des parties à plus grands éléments dans lesquelles les cristaux de feldspath atteignent 1^{cm}.

L'examen microscopique permet de distinguer trois types parmi ces roches. Le premier, de beaucoup le plus commun, est très pauvre en minéraux colorés. Le second, au contraire, en renferme en assez grande quantité. Je les désignerai tous deux sous le nom de *sanidinites*. Ces roches sont surtout abondantes à Menet.

Le troisième type, assez rare dans ce gisement, est basique : il est grenu, riche en hornblende, largement cristallisée.

a) *Sanidinites*. Ces roches se brisent et s'émiettent avec une grande facilité. Leur structure est ou bien grenue (Pl. V, fig. 4 et 11), ou bien miarolitique. La plus grande

1. *C. Rendus*, CXI, 1003, 1890.

partie de la roche est constituée par de l'anorthose et de l'orthose, existant simultanément en cristaux distincts ou associés sous forme de microperthite. L'anorthose est caractérisée par de très fines macles suivant la loi de l'albite avec extinction de + 1° sur p et de + 9° sur g^1 par rapport à l'arête $p\ g^1$. Les cristaux présentent souvent des extinctions ondulées, dues à ce qu'ils sont constitués par des empilements d'individus à axes imparfaitement parallèles. Ce feldspath offre la plus grande analogie de propriétés optiques et de faciès avec celui de Quatre-Ribeiras (Açores) qui a été décrit par M. Fouqué [1].

Quant à l'orthose, elle ne présente rien de particulier.

Le zircon possède tous les caractères extérieurs et les formes des cristaux bien connus d'Espaly; ils sont allongés suivant l'axe vertical et présentent les formes m (110), h^1 (100), b^1 (112), a_2 (312). Leur couleur rouge persiste en lames minces, quoique fort atténuée. J'en ai recueilli des cristaux atteignant 1^{cm}. Ils sont parfois tellement abondants, qu'il est possible d'en trouver huit ou dix gros cristaux sur un fragment de roche de la grosseur d'un œuf, sans parler des innombrables cristaux microscopiques. (Pl. V, fig. 4.)

Le sphène est d'un jaune vif, ses cristaux sont aplatis; ils présentent les formes m (110), h^1 (100), p (001), $d^{1/2}$ (111). De même que le zircon, ce minéral se trouve inclus dans le mica noir. Ce dernier constitue de grands cristaux très pléochroïques, souvent altérés en produits ferrugineux. Dans certains échantillons, il moule les feldspaths.

Le pyroxène est vert clair, légèrement pléochroïque. Enfin, on trouve parfois de l'apatite en très gros cristaux,

1. *Bull. Soc. minér.*, VI, 197, 1883.

riches en inclusions brunâtres. Je reviendrai plus loin sur les modifications subies par ces sanidinites.

Une variété intéressante de ce type consiste en une roche formée par un mélange grenu d'orthose et d'anorthose, et renfermant en outre des cristaux porphyroïdes d'orthose atteignant plusieurs centimètres, du sphène, du zircon et du corindon. Ce dernier minéral forme des cristaux incolores, d'un bleu laiteux opalescent ou d'un beau bleu saphir ; ils mesurent parfois 1 centimètre. J'ai observé les formes a^1 (0001), e^2 $(10\bar{1}0)$. Il existe un clivage très facile suivant a^1 (0001), clivage qui rend délicate l'extraction de cristaux intacts. Les faces a^1 (0001) portent les stries caractéristiques du corindon ; en lumière convergente, elles montrent la croix noire des minéraux uniaxes avec signe négatif. Le pigment bleu est très inégalement réparti dans les cristaux.

Quant au zircon, il ne présente pas les mêmes formes que celui des roches précédentes, il constitue des octaèdres b^1 (112) bruns opaques, rappelant l'*auerbachite*.

Le second type est plus basique : l'orthose est rare ou fréquente, le feldspath triclinique est de l'*oligoclase*. La magnétite est parfois abondante. Le pyroxène automorphe y est souvent accompagné d'une amphibole brune, très pléochroïque. Il y a, du reste, passage du premier type au second.

Ces sanidinites présentent souvent des traces de modifications plus ou moins profondes, modifications qui sont du même ordre que celles que nous avons étudiées dans les enclaves de gneiss et de pegmatite du même gisement.

La roche devient plus friable, les feldspaths sont remplis d'une quantité considérable d'inclusions gazeuses. Il en est du reste de même pour beaucoup des feldspaths des sanidinites décrites dans ce chapitre. Ces inclusions gazeuses,

semblables à celles qui sont abondantes dans les feldspaths des roches anciennes portées à une haute température, permettent de penser que les enclaves que nous étudions étaient solides au moment de leur englobement par le trachyte.

Dans toutes les enclaves modifiées, les grands cristaux de feldspath présentent sur leurs bords la structure en cassette. Parfois, le cristal de feldspath se divise par places en petits parallélipipèdes. Les clivages qui leur ont donné

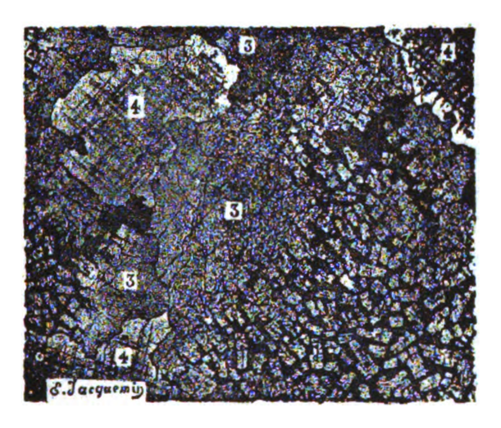


Fig. 26 — Sanidinite[1] de Menet en voie d'altération 3, orthose 4, anorthose.

naissance se remplissent soit de matière amorphe, soit de produits ferrugineux. Examiné en lumière naturelle, le cristal présente alors des formes en trémies, rappelant les cristallisations de bismuth. Dans quelques cas, les vides laissés par ces clivages ont été remplis par du feldspath. On a alors deux individus cristallins emboîtés l'un dans l'autre, et lorsqu'on éteint l'un d'eux, on voit en quelque sorte la

1. Dans un travail antérieur (*Bull. Carte géol. de France*, n° 11, II, 1890, p. 46) j'ai donné cette figure, en considérant la roche qui la représente comme constituée par une roche ancienne. Je ne possédais alors que cet échantillon et n'avais pas encore visité le gisement.

contre-empreinte de l'autre (Pl. V, fig. 6). Dans certains cas, ces formations de nouvelle génération sont peu développées; dans d'autres, au contraire, on les trouve en grande abondance.

Les feldspaths nouveaux, sous forme de cristaux rectangulaires, affectent des formes en trémies lorsqu'ils sont mélangés avec de la matière amorphe et ils se distinguent alors difficilement des produits provenant de la démolition de feldspaths anciens sur lesquels ils s'orientent (Pl. V, fig. 10).

En même temps que ces feldspaths se modifient, on voit les cristaux de pyroxène se transformer sur leurs bords en œgyrine, tandis qu'au milieu des feldspaths de nouvelle génération (et c'est là souvent un moyen de les reconnaître) se produisent en abondance des microlites d'œgyrine. Parfois dans les cavités de la roche, se développe un mélange grenu de feldspath et d'œgyrine. D'autres fois, ce sont de longs microlites d'orthose maclés suivant la loi de Carlsbad et groupés en gerbes. C'est alors le trachyte qui pénètre dans l'enclave et qui cristallise en plus grands éléments que d'ordinaire. Ce fait est très général : il s'observe presque toujours dans les roches volcaniques acides autour de leurs enclaves feldspathiques (Pl. V, fig. 9, à droite, en haut).

La comparaison des fig. 9 et 10 (Pl. V), représentant des sanidinites en voie de modification, et de la fig. 5, reproduisant un gneiss en voie de transformation, fait voir combien sont identiques les phénomènes métamorphiques qui s'observent dans ces roches si différentes au point de vue de l'origine. Dans la fig. 5, j'ai à dessein fait représenter une partie de la roche dépourvue de quartz.

Le mica est souvent altéré et, comme toujours, il se développe alors à ses dépens de la magnétite, qui forme dans les

druses des cristaux nets a^1 (111), b^1 (110). Ces derniers sont fréquemment orientés sur le mica, de telle sorte qu'une de leurs faces octaèdriques repose sur la base du mica, les axes ternaires des deux minéraux coïncidant. A ces groupements viennent se joindre des lamelles d'oligiste, offrant la même orientation.

Enfin, dans les druses de ces sanidinites, s'observent souvent[1] de très jolis cristaux transparents d'apatite, de sphène et de zircon rouge foncé, allongés suivant l'axe vertical, ou rose pâle presque incolore avec la forme b^1 (112) de l'azorite. Plus rarement, on trouve des cristaux feldspathiques à formes nettes.

Ces mêmes minéraux se rencontrent avec les mêmes formes dans les sanidinites de presque tous les gisements. Je les ai retrouvés associés à des cristaux d'œgyrine, de tridymite bleuâtre, dans les cavités d'une roche singulière, offrant les caractères des sanidinites en voie de transformation, mais contenant çà et là des fragments de quartz violacé. L'étude attentive de cet échantillon montre qu'il est formé par une granulite presque entièrement dissoute et recristallisée; les produits récents constituent une roche presque identique aux sanidinites normales dont il ne serait guère possible de les distinguer, s'il n'existait encore quelques restes de feldspath et de quartz anciens et une grande abondance de tridymite formée aux dépens de ce dernier minéral.

b) *Enclaves basiques.* — Les enclaves de ce type sont rares à Menet : elles sont constituées par des roches à grands éléments, très riches en cristaux de hornblende brune, d'augite, d'apatite et de magnétite, englobés par d'énormes plages de labrador.

1. A. Lacroix. *Bull. Soc. minér.*, XIV, 314, 1891.

Ces enclaves me paraissent très nettement dues à des ségrégations, elles ont toujours de petites dimensions.

Des ségrégations de ce genre semblent assez communes dans les *andésites à hornblende* du Cantal. Je ne les ai pas étudiées sur place à ce point de vue, mais en parcourant la collection de roches recueillies par M. Fouqué, j'en ai rencontré dans celles de la carrière de Boué, et de divers autres points du Lioran, dans celles de Chavaroche, dans les *trachytes* de Chairouche et dans ceux des grandes carrières qui dominent la route d'Albepierre, près Murat.

Les enclaves de tous ces gisements se rapprochent, comme structure, de celles de Menet : elles renferment souvent de la biotite, présentant une tendance plus ou moins marquée à l'ophitisme : leurs feldspaths contiennent parfois des inclusions gazeuses.

Quant aux enclaves des *andésites à hornblende* du Meynial, près Murat, elles offrent la plus frappante analogie avec les roches décrites plus haut au Mont-Dore : les interstices miarolitiques sont remplis par de la biotite, et des zéolites [christianite et surtout chabasie (phacolite)] dont de beaux cristaux maclés se rencontrent aussi dans les fissures de l'*andésite* englobante.

Une enclave englobée dans une *andésite à hornblende* de la butte d'Auteroche près Murat présente un intérêt tout spécial en montrant comment se forment les enclaves basiques du type commun au Mont-Dore. Elle est essentiellement formée de hornblende brune automorphe, de labrador riche en inclusions vitreuses, de magnétite et d'apatite. L'amphibole est antérieure au feldspath dont les grands cristaux s'enchevêtrent comme dans les enclaves diabasiques de Riveau Grand. Ils laissent entre eux des interstices remplis par un verre brunâtre renfermant des microlites filiformes d'un feldspath triclinique acide s'étei-

gnant dans la zone de symétrie, sous de très petits angles. Ces microlites s'orientent souvent sur les grands cristaux feldspathiques, en prenant des formes cristallitiques.

A l'une des extrémités de l'échantillon, les cristaux de hornblende sont de grande taille, mais ceux de labrador sont au contraire petits : ils constituent des individus à forme nette, englobés dans le verre et entourés par les mêmes microlites acides dont il a été question plus haut. Cette partie de la roche établit un passage entre l'enclave très cristalline et l'andésite à hornblende normale dans laquelle les grands cristaux de hornblende et de labrador sont beaucoup moins nombreux.

Haute-Loire. — Monac. Les *trachytes à anorthose* de Monac renferment, en même temps que les enclaves de roches anciennes décrites page 199, de très nombreux blocs d'enclaves homœogènes, atteignant parfois plusieurs décimètres de plus grande dimension.

a) *Sanidinites.* — Ce sont des roches à structure miarolitique à très grands éléments possédant la même composition que les *sanidinites* de Menet. Leur feldspath est généralement de l'orthose sodique monoclinique, bien qu'il existe des types constitués par de l'anorthose à très fines lamelles hémitropes. Le zircon et le sphène présentent les mêmes caractères que ceux de Menet; il sont moins abondants. Le mica noir et le pyroxène sont rares.

Les phénomènes de transformation décrits à Menet s'observent encore ici, mais avec une intensité moindre. Au contact de l'enclave et du trachyte, on voit souvent ce dernier pénétrer la sanidinite, nourrir sur leurs bords les grands cristaux feldspathiques, et cristalliser sous forme de longs microlites enchevêtrés (Pl. V, fig. 8.) affectant, parfois des formes étoilées. Ils sont, par places, moulés par du pyroxène vert (œgyrine).

Tandis qu'à Menet, les sanidinites sont remarquablement exemptes de produits secondaires, à Monac, au contraire, les cavités de ces roches sont fréquemment tapissées de christianite (macle de Stempel[1]), de chabasie et postérieurement remplies par de la calcite ferrifère qui prend un éclat bronzé sur les surfaces altérées par l'air.

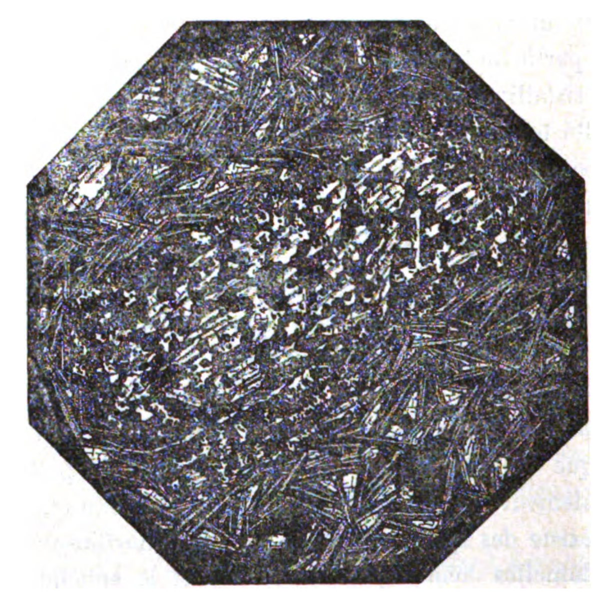


Fig. 27. — Hornblende en voie de transformation en augite (P_4) et magnétite, dans la labradorite de Queyrières (Haute-Loire).

b) *Enclaves basiques*. — A côté de ces *sanidinites*, se rencontrent en petite quantité comme à Menet, des ségrégations basiques riches en hornblende. Leur composition et leur structure les rapprochent du type commun au Mont-Dore : elles sont plus riches en augite. De plus, la hornblende est toujours en voie de résorption. Souvent les

1. *Bull. Soc. minér.*, XIV, 317, 1891.

contours du cristal de hornblende sont formés par un cadre cristallitique presque continu d'augite, accompagnée d'un peu de magnétite. Ces phénomènes de résorption de la hornblende s'observent dans le *trachyte* englobant de Monac, comme dans un grand nombre de *trachytes*, d'*andésites* et de *labradorites* du Velay. La fig. 27, que je dois à l'obligeance de M. Boule[1], montre un des modes habituels de cette transformation.

Mont-Chanis et Valamont. — Les *trachytes* du Mont-Chanis, à l'E. de Monac, et ceux de Valamont-en-Saint-Voy, à 4 kil. N. de Faÿ-le-Froid, renferment des *sanidinites* analogues à celles de Monac; elles sont très riches en zéolites secondaires.

La Prade. — Il en est de même pour celles qui se trouvent à la Prade, dans les *trachytes* exploités au Mont Charret. MM. Boule[2] et Gonnard[3], en effet, ont rencontré de nombreux minéraux (chabasie, christianite, tridymite, quartz, calcite, etc.) dans la roche volcanique et dans ses enclaves. Il existe aussi quelques ségrégations basiques (augite, apatite, feldspath triclinique).

Montusclat. — Dans la collection du Muséum, j'ai trouvé une ségrégation englobée dans le *trachyte* à *hornblende* de Montusclat. Elle est à grands éléments de hornblende et de labrador, avec apatite et magnétite. Par places, il existe du verre, riche en longs microlites d'orthose.

La Denise. — J'ai rencontré dans la même collection de petits échantillons de *sanidinite* recueillis par M. L. Pascal dans les *tufs basaltiques* de La Denise, près du Puy. Ils sont remarquables par l'existence de gros cristaux rouges de zircon offrant les uns la forme de ceux d'Espaly,

1. *Bull. Carte géol. de France*, n° 28, III, fig. 35, 1892.
2. *Op. cit.* 132.
3. *Bull. Soc. minér.*, XV, 30, 1891.

les autres celle d'octaèdres b^1 (112). Cette observation prouve que l'origine des zircons des tufs basaltiques n'est pas unique. Quant aux sanidinites elles-mêmes, elles ont été sans doute arrachées aux *sables à Mastodontes* (dans lesquels M. Boule a signalé l'existence de fragments de toutes les roches volcaniques du Mézenc), car il n'existe pas de roches trachytiques en place aux environs du Puy.

Prusse rhénane. — *Eifel.* Au Bocksberg et au Rengersfeld, les enclaves enallogènes décrites plus haut sont accompagnées d'enclaves grenues que nous avons à étudier ici. On peut y distinguer les deux types habituels.

a) *Sanidinites.* — Les sanidinites sont à très grands éléments, presque exclusivement composées d'orthose et d'anorthose avec un peu de zircon, et rarement de pyroxène et de biotite. Elles sont miarolitiques. Leurs interstices sont parfois remplis par de la calcite secondaire, et souvent tapissés de très beaux cristaux de tridymite. Les feldspaths de quelques échantillons sont extrêmement riches en inclusions gazeuses et en inclusions liquides à bulle mobile. Les phénomènes de corrosion et de recristallisation, décrits à Menet, s'observent parfois (Pl. V, fig. 12); les feldspaths récents, en baguettes rectangulaires, sont alors jalonnés par un peu de matière jaunâtre.

b) *Enclaves basiques.* — Les enclaves basiques offrent également une grande analogie avec celles du Plateau Central. Le feldspath dominant est la bytownite; la hornblende brune est très abondante, généralement associée à du pyroxène et à une très grande quantité de magnétite et d'apatite avec inclusions noires. Les inclusions vitreuses ne sont pas rares dans les feldspaths, il y a fréquemment tendance à la structure ophitique. Ces enclaves sont généralement calcifiées et paraissent être des ségrégations;

on rencontre fréquemment des passages insensibles entre elles et la roche ambiante. M. K. Vogelsang[1] décrit des enclaves analogues provenant de ces gisements. Il y a trouvé de l'hypersthène, localement transformé en biotite. Des enclaves identiques de Stenzelberg (Siebengebirge) sont signalées par le même auteur. Je n'ai rencontré d'hypersthène dans aucun de mes échantillons.

Siebengebirge. — Les trachytes et andésites des divers points du Siebengebirge renferment des enclaves tout à fait analogues à celles de l'Eifel et sur lesquelles il me semble inutile de revenir. Quelques-unes de celles de Margarethkreuz, du Drachenfels, du Volkenburg et du Lohrberg sont pauvres en amphibole et contiennent une assez grande quantité d'augite et de biotite. L'apatite y est plus rare que dans les roches précédentes.

Santorin. — M. Fouqué a décrit[2] sous le nom de *nodules à oligoclase* de grosses enclaves qu'il a recueillies dans l'*andésite à hypersthène* de l'éruption de 1866. C'est une roche à apparence très cristalline, criblée de petites cavités.

Au microscope, on constate qu'elle est constituée par une trame de longs cristaux allongés de feldspath triclinique, associés à beaucoup d'hypersthène, à de l'augite, de la magnétite et enfin à un peu d'olivine. Les inclusions vitreuses sont abondantes dans les minéraux transparents.

Les intervalles laissés entre eux par les cristaux sont imparfaitement remplis par du verre brun clair, parsemé de longs microlites filiformes de feldspath non maclé et de quelques microlites pyroxéniques.

Dans des analyses et des études optiques récentes,

1. *Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.* XXV, 237, 1873.
2. *Santorin et ses éruptions*, 209, 1878.

M. Fouqué a constaté que le feldspath en grands cristaux n'est point de l'oligoclase, mais du labrador.

Il est fort intéressant d'étudier les plaques minces de cette roche qui présente une structure analogue à celle de l'enclave d'Auteroche, décrite plus haut. Quand les feldspaths sont coupés par la section mince parallèlement à l'axe de la zone pg^1 (001) (010), on les voit se continuer par des prolongements filiformes, mais rectilignes. Les sections perpendiculaires à l'arête pg^1 ont la forme de quadrilatères homogènes, si elles passent par le milieu du cristal, mais si au contraire elles le coupent à ses extrémités, elles sont réduites à un cadre biréfringent, parfois très mince, entourant de la matière vitreuse. Il faut donc se représenter ces cristaux de feldspath comme constituant des baguettes évidées à leurs extrémités; quelques-unes sont mêmes creuses dans toute leur étendue.

Ces enclaves sont plus basiques que l'andésite englobante : on peut les considérer comme des ségrégations basiques, analogues à celles du type commun au Mont-Dore, mais ici, nous pouvons les étudier à un stade moins élevé de leur développement, elles sont en voie de formation.

Champs Phlégréens. — Vom Rath a signalé[1] comme grande rareté une bombe de *sanidinite* provenant des Champs Phlégréens, sans indication plus précise de gisement. La roche, essentiellement composée de sanidine, contenait en outre de la biotite, de l'augite, du sphène, de l'apatite, de la magnétite et de l'oligiste. Les cristaux de sphène avaient la forme de la séméline et possédaient les faces suivantes : p (001), m (110), h^1 (100), g^1 (010), $d^{1/2}$ (111), $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$), o^2 (102).

1. *Zeitschr. d. d.geol. Gesellsch.* XLIV, 24, 1890.

Agnano. — Je dois à l'obligeance de M. Bassani un échantillon de *sanidinite*, recueilli par ce savant à Santa Theresa, près Agnano : elle est formée par des feldspaths très aplatis suivant g^1 (010) (sanidine et feldspath triclinique), de l'augite, de la hornblende verdâtre, quelques lamelles de biotite, de la magnétite, et beaucoup de sphène jaune d'or, offrant la forme des cristaux décrits par vom Rath. Tous les éléments colorés qui viennent d'être énumérés sont en grande partie postérieurs aux feldspaths. Dans cette sanidinite, la sanidine et les feldspaths tricliniques ont la même forme.

Toute autre est la structure d'un fragment recueilli par M. Omboni, dans le tuf du lac d'Agnano, et que ce savant a bien voulu me communiquer. Il n'existe plus de vides miarolitiques, la roche est massive. Le feldspath triclinique se présente en cristaux nets, associé à de grandes lames de biotite, à des cristaux d'augite très allongés suivant l'axe vertical et à de la magnétite. Tous ces minéraux sont englobés par d'énormes plages d'orthose, rappelant celles que le même minéral forme souvent dans les granites. La roche est riche en longues aiguilles d'apatite, et ne contient pas de sphène.

Monte Olibano. — Dans les grandes carrières du Monte Olibano et particulièrement dans les premières que l'on rencontre après avoir quitté la halte du chemin de fer de Gerolomini pour aller dans la direction de Pouzzoles, j'ai trouvé d'assez nombreuses enclaves intéressantes.

a) *Sanidinites*. — Les sanidinites forment des masses atteignant la grosseur de la tête. Elles sont à grands éléments, très fragiles : les interstices miarolitiques sont souvent remplis par de petits agrégats cotonneux, brun rouge, de Breislakite, minéral qui, comme on le sait, se trouve assez abondamment répandu avec hornblende et sodalite

dans toutes les cavités du *trachyte à pyroxène* de cette localité.

Au microscope, on constate que ces roches sont en grande partie formées de larges plages de sanidine aplaties suivant g^1 (010) et englobant quelques rares cristaux d'apatite, de magnétite et de pyroxène ainsi qu'une assez grande quantité de cristaux de feldspath triclinique.

Ceux-ci ont des contours nets, mais sont creusés d'innombrables cavités tantôt régulières, tantôt polyédriques, souvent en rapport avec les clivages. Ces cristaux sont, en quelque sorte, réduits à une sorte de dentelle immergée dans la sanidine. Ces cavités renferment aussi de l'hématite, de l'augite, etc. Quand on examine en lumière naturelle une lame mince de ces sanidinites, surtout si l'on a soin de baisser le condenseur, il est facile de voir tous les détails de cette curieuse structure, à cause de la plus grande réfringence du feldspath triclinique. La fig. 29, donnée plus loin, représente une roche analogue provenant du lac de Vico.

Au contact avec le trachyte englobant, celui-ci a pénétré dans tous les interstices de l'enclave et y a cristallisé, comme toujours, sous forme de longs microlites feldspathiques analogues à ceux de la fig. 8 de la Pl. V : ils sont souvent moulés par de l'augite, se transformant sur les bords en œgyrine; enfin l'augite est parfois accompagnée par de la sodalite. Ce minéral ne semble pas être un élément normal de ces sanidinites; il doit, sans doute, son origine à des émanations postérieures au même titre que la hornblende, le mica, la sodalite, etc., qui abondent dans les fissures du trachyte englobant.

J'ai trouvé une enclave fort curieuse qui mérite le nom de *microsanidinite* : c'est une roche à grains fins présentant à l'œil nu l'apparence d'un morceau de sucre.

Au microscope, on constate qu'il existe quelques cristaux porphyroïdes de sanidine, de feldspath triclinique, offrant les curieuses corrosions signalées plus haut; ils sont accompagnés d'augite jaune d'or et de biotite. Ces cristaux sont englobés par un magma de cristaux allongés de sanidine, simples ou maclés suivant la loi de Carlsbad, associés à quelques grains d'augite jaune : çà et là on perçoit un peu de sodalite moulant la sanidine. Cette roche holocristalline est une sorte de sanidinite à deux temps de consolidation, établissant le passage entre les *sanidinites* normales et les *trachytes*, et montrant une fois de plus la parenté existant entre ces deux catégories de roches.

b) *Enclaves basiques*. — A côté des *sanidinites*, se rencontrent d'autres enclaves, généralement petites. Elles sont formées par de l'augite, quelquefois de la hornblende en cristaux nets très allongés, associés à de la magnétite et moulés par de très grandes plages de feldspath triclinique (andésine ou labrador) sans contours nets. Il existe parfois de très gros cristaux d'olivine. Souvent l'amphibole verdâtre est cristallographiquement orientée sur le pyroxène, soit qu'elle forme des facules au milieu de lui, soit qu'elle l'encapuchonne.

Dans quelques échantillons, le pyroxène et l'amphibole se rencontrent en grands cristaux bien définis, ainsi qu'en microlites et en innombrables aiguilles qui s'enchevêtrent et forment un véritable treillis au milieu du feldspath.

Quand il existe des cavités, elles sont fréquemment tapissées par de la sodalite.

Ces enclaves sont sans aucun doute des ségrégations basiques effectuées dans le *trachyte* : on les voit souvent passer insensiblement à ce dernier.

Ile de Procida. — *Les tufs trachytiques* de Procida renferment, associés aux calcaires décrits page 330, de

nombreux blocs de *sanidinites*. J. Roth[1] les a brièvement décrites comme constituées par de la sanidine, de la hornblende, de l'augite, de la biotite, du mica et de la magnétite, avec, dans leurs druses, des cristaux sublimés de magnétite, de sanidine et de sphène. M. Arzruni a étudié[2] ces cristaux drusiques de sphène et de hornblende. Le sphène présente les formes suivantes : p (001), m (110), h^1 (100), $d^{1/2}$ (111), a^1 ($\bar{1}$01).

J'ai moi-même recueilli dans cette île de nombreuses sanidinites qui présentent des faits nouveaux fort intéressants. J'ai entrepris mon excursion à Procida, après avoir vu dans la collection de l'Université de Naples quelques échantillons que M. Bassani avait bien voulu me montrer.

A la marina de San Cattolico, les blocs de sanidinite, engagés dans une brèche ignée, ont souvent la grosseur de la tête : ils sont soit anguleux, soit arrondis et sont accompagnés de nombreuses variétés plus ou moins vitreuses de trachyte ainsi que de quelques roches à leucite généralement altérées; j'ai recueilli en moins grande quantité des sanidinites dans la brèche des falaises avoisinant le cimetière de Procida.

J'ai tout d'abord retrouvé les sanidinites signalées par MM. Roth et Arzruni : ce sont des roches assez fragiles possédant la même structure que les sanidinites de Menet. Le feldspath monoclinique, souvent faculé d'anorthose, est parfois remplacé par ce dernier minéral : la hornblende appartient à la variété brune très biréfringente, elle moule quelquefois le feldspath. Le sphène est abondant et possède les formes citées plus haut ; j'y ai, en outre, trouvé de très jolis cristaux de zircon rose, offrant les formes de celui que j'ai découvert dans les mêmes condi-

1. *Ber. k. preuss. Akad. d. Wissensch. Berlin*, 1003, 1881.
2. *Ber. k. preuss. Akad. d. Wissensch. Berlin*, 227, 1882.

tions à Menet. La magnétite forme parfois (cimetière de Procida) de très gros cristaux a^1 (111), b^1 (110) fort fragiles.

Quelques échantillons contiennent un pyroxène d'un vert très foncé en lames minces; enfin, parfois, les feldspaths, au lieu d'être enchevêtrés d'une façon irrégulière, se groupent en rosettes comme dans les sanidinites du lac de Laach (Pl. VI, fig. 1 et 2). Leurs fissures sont souvent remplies de minces lamelles d'hématite donnant une couleur rosée à la roche vue en masse.

Dans les sanidinites de ce type, les interstices miarolitiques, souvent très grands, restent vides et sont seulement tapissés de quelques-uns des éléments cristallisés qui ont été énumérés plus haut.

Il n'en est plus de même pour une catégorie de blocs que j'ai découverts dans ce gisement : ils sont compactes par suite du remplissage de toutes leurs cavités par un minéral du groupe de la wernérite.

Ce minéral se développe à travers tous les éléments de la roche et sans doute par corrosion; il forme des masses cannelées atteignant la grosseur du petit doigt. Je n'ai pas pu trouver de pointement dans les très nombreux blocs que j'ai brisés et examinés à ce point de vue. Le minéral possède des clivages prismatiques, parallèlement auxquels a lieu l'extinction : il est à un axe optique et son signe est négatif. Sa biréfringence permet de le rapporter au groupe de la *marialite*[1].

L'analyse n'en étant pas terminée au moment de la mise en pages de ce travail, je me propose d'en donner ailleurs la description détaillée.

1. J'ai fait voir en effet (*Bull. Soc. minér.*, XII, 356, 1889), à l'aide de nombreuses mesures d'indices, que les minéraux du groupe des wernérites pouvaient facilement être distingués les uns des autres par leur biréfringence qui augmente avec la teneur en chaux. D'après cette loi, la biréfringence de la marialite doit être inférieure à celle du dipyre (0.015), ce qui se vérifie pour le minéral qui nous occupe.

Dans ces roches, la wernérite joue le même rôle que la sodalite dans les sanidinites du Monte Olibano ; elle est à comparer à la scapolite que nous retrouverons au lac de Laach. Enfin, il ne me semble pas douteux que ce ne soit là un minéral de fumerolles, produit après la consolidation de la roche. Je l'ai rencontré, en effet, dans les *trachytes* de Procida, où il forme de grands cristaux allongés qui semblent corroder le magma microlitique de ce dernier. Cette wernérite présente alors la même apparence que le quartz secondaire dans les trachytes en voie de silicification.

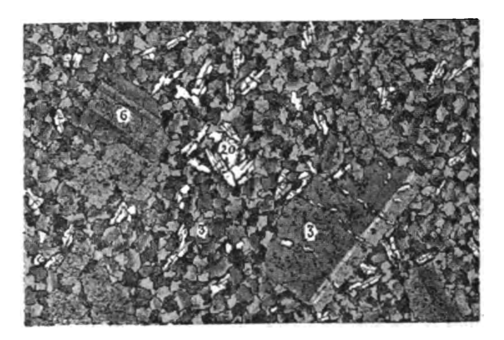


Fig. 28. — Microsanidinite de Procida. 3. orthose. 6. oligoclase. 20. augite, englobés dans un magma feldspathique finement grenu.

Il y a lieu de comparer la formation de ce minéral à celle que l'on trouve en petits cristaux nets (*marialite*), dans le *piperno* de la Pianura.

A côté de ces sanidinites à structure miarolitique, il s'en rencontre d'autres à éléments un peu moins grands, dans lesquelles les lamelles de feldspath (généralement anorthose) ne laissent plus entre elles aucun vide. Le pyroxène d'un vert jaune très foncé s'y présente très fréquemment en larges plages, englobant une grande quantité de lamelles feldspathiques. Il est généralement entouré par de petites lamelles de biotite, et plus rarement rem-

placé par la hornblende brune présentant les mêmes relations avec les feldspaths.

Dans ces sanidinites, il y a une tendance à la formation de deux temps de consolidation, qui font pressentir un passage à ces *microsanidinites* dont j'ai parlé au sujet du Monte Olibano. On trouve, du reste, à Procida, de véritables microsanidinites : à l'œil nu, elles paraissent compactes, et quelques échantillons présentent une structure irrégulièrement zonée par développement plus abondant de pyroxène vert dans certains points.

Au microscope, on constate, dans les parties à grands éléments, des plages grenues de feldspath (orthose et anorthose) et de pyroxène : la roche possède la structure de celle qui est représentée par la fig. 4 de la Pl. V. Par places, le grain de la roche diminue progressivement ou brusquement, et alors, la roche offre l'apparence d'une *microgranulite* [1] qui serait dépourvue de quartz. De petites plages irrégulières de feldspath s'enchevêtrent, mélangées à des grains de sphène, d'augite. Il n'y a pas de formes microlitiques et pas de matière vitreuse.

Dans quelques échantillons, au milieu de cette pâte microgranulitique, il existe de grands cristaux donnant à la roche une apparence porphyroïde (fig. 28).

Quand les feldspaths prennent des contours, ces roches singulières passent au trachyte à texture un peu phonolitique [aplatissement des microlites parallèlement à g^1 (010).]

Notons enfin que les sanidinites grenues, passant à ces microsanidinites, renferment généralement en abondance du grenat mélanite, que je n'ai pas trouvé dans les sanidinites des autres types.

1. Cette comparaison avec la *microgranulite*, s'applique seulement à la structure.

J'attache une certaine importance à ce fait. En effet, ces *microsanidinites* présentent l'analogie la plus frappante avec une forme de contact de la syénite néphélinique des environs de Montréal (Canada), que j'ai décrite antérieurement[1], et qui contient également en abondance du grenat mélanite.

Or, à Procida, comme je l'ai dit page 330, avec ces sanidinites, on rencontre dans les tufs des blocs calcaires plus ou moins transformés. On peut se demander, dès lors, si ces sanidinites à grenat et ces microsanidinites ne sont point le résultat de cristallisations du magma trachytique effectuées à proximité de masses calcaires et modifiées par elles, comme l'ont été les syénites néphéliniques de Montréal, au contact des calcaires siluriens.

Ile d'Ischia. — J'ai trouvé, dans le *trachyte* du Castel d'Ischia, deux fragments de *sanidinites* identiques à celles du Monte Olibano : leurs cavités sont remplies de Breislakite.

M. Rosenbusch a signalé[2], dans la coulée de *trachyte* de l'Arso, un fragment de sanidinite analogue à ceux du lac de Laach. Je n'en ai pas moi-même trouvé dans ce gisement, mais, par contre, j'en ai recueilli d'abondants échantillons dans les *tufs trachytiques* de l'Epomeo, et particulièrement au dessus de Lacco Ameno et de Casamicciola. Ces sanidinites sont associées à des fragments de trachytes : elles sont le plus souvent de petite taille, arrondies et fortement pénétrées de calcite secondaire qui se loge soit dans leurs interstices miarolitiques, soit dans les fissures du feldspath.

Ces roches sont presque exclusivement constituées par de la sanidine, et plus rarement par de l'anorthose. Il

1. *Bull. Soc. géol.*, 3e série, XVIII, 535, pl. XI, fig. 6, 1890.
2. *Mikroskopische Physiographie*, 1887, 604.

existe presque toujours un peu d'augite et de biotite, de la magnétite et du sphène. Les interstices miarolitiques sont parfois remplis par de la sodalite qui, le plus souvent, est décomposée et plus ou moins remplacée par de la calcite secondaire.

Quelques échantillons sont grenus comme l'échantillon représenté par la fig. 4 de la Pl. V : ils sont dépourvus de cavités et, par suite, ont très bien résisté à la calcification ; ils ne contiennent pas de sodalite, ce qui semble indiquer que, dans les sanidinites miarolitiques de ce gisement, la sodalite n'est pas d'origine primaire.

Enfin, des échantillons plus rares sont identiques aux *sanidinites à wernérite* que j'ai décrites plus haut à Procida.

Iles Ponces. — M. Arzruni a signalé[1] l'existence dans les *tufs trachytiques* des îles Ponces de *sanidinites* semblables à celles de Procida, bien que l'augite y soit moins abondante ; il a étudié les cristaux de sphène qu'elles renferment [$d^{1/2}$ (111), g^1 (010)].

M. F. Eigel a brièvement décrit[2] une enclave à aspect syénitique qui contient : orthose, amphibole, mica, sphène, apatite, magnétite et un feldspath triclinique, considéré par ce savant comme de l'anorthite.

Lors de mon passage à Naples, j'ai vu entre les mains de M. Mercalli plusieurs sanidinites de ce gisement, dont je n'ai eu l'occasion d'étudier aucun échantillon.

Massif de Roccamonfina. — Aux environs de Roccamonfina et sur la rive droite du ravin qui part du village de Garofali pour venir finir dans la Savone, vis à vis du hameau de Pieta, j'ai rencontré au milieu des *tufs*

1. *Monatzber. k. preuss. Akad. Wissensch. Berlin*, 227, 1882...
2. *Tschermak's min. u. petr. Mitth.* VIII, 91, 1887.

trachytiques, en même temps que les calcaires transformés décrits page 333, des fragments de roches basiques à leucite, des trachytes, des andésites, et enfin des bombes qui doivent nous occuper ici.

a) *Sanidinites.* — On y rencontre tout d'abord, mais en petite quantité, des sanidinites du type commun, pauvres en éléments colorés (mica et pyroxène), sur lesquelles je n'insisterai pas.

b) *Enclaves basiques.* — Plus nombreuses sont les roches basiques.

Les unes sont holocristallines à grands éléments, constituées par du feldspath triclinique (labrador et anorthite) grenu, associé à du pyroxène vert et à de la biotite. Ces derniers minéraux sont parfois eux-mêmes grenus, mais le plus souvent, forment de grandes plages englobant plusieurs cristaux feldspathiques : la biotite est postérieure au pyroxène ; il existe en outre un peu de magnétite. Le feldspath et le pyroxène renferment quelques inclusions vitreuses. Ces roches offrent une grande ressemblance avec le type le plus cristallin des enclaves de ce genre, que j'ai décrites dans les tufs du Puy-de-Dôme. Comme dans cette région, ces enclaves sont accompagnées, dans les tufs, de fragments de *trachytes* et d'*andésites* de composition et de basicité très variées, et il n'est pas possible d'établir avec certitude avec lesquelles de ces roches elles sont en relation.

D'autres enclaves rappellent davantage les enclaves à structure diabasique du Capucin. De grands cristaux automorphes d'augite et de biotite sont associés à des cristaux enchevêtrés de feldspath triclinique, laissant entre eux des interstices miarolitiques, parfois en partie remplis par un peu de résidu vitreux. Ces roches constituent un type bien net de ségrégations.

Monts Euganéens. — L'analogie de composition, présentée par les *trachytes à biotite* des Monts Euganéens avec quelques-uns de ceux du Plateau Central de la France, m'a engagé à rechercher des sanidinites dans ces roches volcaniques ; je n'en ai rencontré en abondance que dans la grande carrière exploitée dans la ville même de Monselice.

Les trachytes de ce gisement sont des *trachytes à biotite et hornblende*, rappelant beaucoup, comme composition et comme structure, ceux de Monac; la même analogie se rencontre dans les *sanidinites* des deux gisements.

a) *Sanidinites.* — Elles sont à grands éléments, leurs interstices miarolitiques sont tapissés de produits ferrugineux brunâtres. Au microscope, on constate que le feldspath qui les constitue presque entièrement, est de l'anorthose. Il existe, en outre, de gros cristaux de zircon, de l'apatite, un peu de sphène et de fer titané, de la biotite et plus rarement de l'augite.

La biotite est assez riche en octaèdres de magnétite qui paraissent s'être produits par fusion partielle du mica.

Localement, le magma trachytique a pénétré dans l'enclave, et, comme cela a lieu généralement dans de semblables conditions, a recristallisé soit sous forme de longs microlites, soit sous celle de grains ou de cristaux isométriques. La roche ainsi produite est tantôt holocristalline, et tantôt accompagnée d'un peu de matière vitreuse.

La biotite y est plus rare que dans la sanidinite, l'augite plus abondante ; cette dernière moule souvent les cristaux de feldspath et donne ainsi naissance à la structure ophitique qui ne s'observe normalement ni dans les sanidinites, ni dans les trachytes.

Enfin, les phénomènes secondaires qui ont si profondément modifié quelques-unes des roches de cette région

sont aussi reconnaissables dans ces sanidinites; ils y ont développé du quartz, remplissant les interstices miarolitiques des sanidinites et de leur contact avec le trachyte; ce quartz à structure granitique donne à quelques plages de ces roches l'apparence d'un véritable granite. Nous avons vu déjà plusieurs fois un fait analogue au cours de ce travail.

b) *Enclaves basiques.* — Des ségrégations basiques se rencontrent dans les carrières de Monselice; on y observe en abondance de la hornblende brune, associée à de l'augite, de l'apatite et de la magnétite. Le feldspath triclinique est très zoné, la partie centrale des cristaux est la plus basique, elle est constituée par du labrador. Ces feldspaths, au lieu d'être grenus ou allongés comme dans la plupart des enclaves basiques des autres gisements, présentent en général des formes raccourcies, trapues : ils sont serrés les uns contre les autres, offrant même des formes géométriques quand il existe un peu de matière vitreuse.

J'ai recueilli d'intéressantes enclaves basiques pouvant se rapporter au même type dans une *andésite à hornblende*, *augite et biotite*, que l'on rencontre près d'une petite crête entre le Monte Venda et le Monte Rua, non loin du lieu dit Negrella (en haut d'un ravin descendant à Galzignano).

Ces enclaves de couleur foncée atteignent les dimensions de la tête; elles sont altérées, fragiles, et il est difficile d'en isoler un fragment un peu gros.

Elles sont essentiellement composées d'un feldspath basique, de pyroxène, de magnétite et de hornblende. En lames minces, on y constate en outre l'existence d'apatite. La structure est holocristalline. Le pyroxène vert pléochroïque possède les inclusions du diallage et une grande

quantité d'inclusions vitreuses et gazeuses. Il est intimement associé à la hornblende brune, très pléochroïque, qui forme au milieu de lui des facules, ou plus souvent l'entoure et s'oriente cristallographiquement sur lui.

Ces minéraux sont englobés par de grandes plages d'un feldspath basique qui, d'après les essais qui ont été faits dans mon laboratoire par M. Bertolio, est constitué par une bytownite. Ce feldspath est criblé d'inclusions liquides avec libelle extrêmement mobile.

Le pyroxène englobe un peu de magnétite, mais la plus grande partie de ce minéral est postérieure à tous les éléments de la roche sans exception, et joue le même rôle que le fer natif dans la dolérite d'Ovifak.

Andalousie. — M. Osann a décrit[1], dans les *andésites à hypersthène* de Hoyazo (cap de Gates), des roches grenues basiques, à feldspath triclinique, hornblende, etc., qui paraissent appartenir au même type.

Islande. — J'étudierai ici, bien qu'elles se trouvent au milieu de projections basiques dans lesquelles elles constituent des enclaves enallogènes, des roches depuis longtemps connues sous le nom de *Krablites*. Elles proviennent de la montagne de Krabla, à 12 kil. du lac Myvatn, dans le nord de l'Islande.

MM. Forschammer, Genth, puis Sartorius de Waltershausen les considérèrent comme constituant un feldspath spécial.

En 1860, M. Zirkel fit voir qu'elles forment en réalité une roche que M. Bréon a bien décrite[2] en 1884. Plus récemment, M. Bäckström[3] a étudié quelques échantil-

1. *Zeitschr. d. d. geol. Gesell.*, XL, 702, 1888.
2. *Notes pour servir à l'étude de la géologie de l'Islande.* Paris, Lahure, 1884, 35.
3. *Geol. Fören. i. Stockholm Förhandl.*, XIII, 637, 1890.

lons analogues et les a rattachés aux *trachytes sodiques acides* (liparites), dont l'éruption a précédé celle des roches basiques modernes de la région.

Je dois à l'obligeance de M. Bréon communication des échantillons qu'il a décrits.

Ce sont des roches assez variées d'aspect extérieur. Elles sont généralement très miarolitiques, blanches, fragiles, présentant une ressemblance frappante avec les sanidinites. Dans leurs nombreuses cavités, on distingue des cristaux nets d'orthose vitreuse.

Leur composition minéralogique est celle d'une micropegmatite à très grands éléments. Leurs feldspaths (orthose et andésine) renferment de nombreux cristaux pegmatoïdes de quartz, souvent groupés autour d'un cristal de feldspath non quartzifié. Elles renferment de grands cristaux d'augite, plus rarement de hornblende et de biotite.

Ces deux derniers minéraux subissent des transformations en magnétite, analogues à celles que l'on observe dans toutes les enclaves des roches basiques.

La parenté de ces roches avec les *sanidinites* paraît hors de doute ; de plus, leur composition chimique est tout à fait comparable à celle des trachytes sodiques connus en place dans la région. M. Helland aurait trouvé en plusieurs points de l'Islande des masses et des amas de roches analogues.

Ces *krablites* ne sont donc pas des roches spéciales. Je les considèrerai avec M. Bäckström, comme les *sanidinites* des *trachytes acides* islandais. Leur teneur élevée en silice ne doit pas étonner, leurs trachytes étant euxmêmes très siliceux et renfermant même parfois du quartz bipyramidé.

Rien ne s'oppose, du reste, à ce qu'une partie, au moins, sinon la totalité du quartz de ces krablites ne soit secon-

daire, à la manière de celui des *sanidinites* des Açores. Un des échantillons que j'ai examinés vient, en effet, à l'appui de cette opinion; il est constitué par des cristaux blancs de sanidine englobés par une matière grisâtre à apparence un peu micacée, rappelant celle qui se forme au Mont-Dore aux dépens des grands cristaux d'orthose des roches volcaniques, englobées dans des trachytes plus récents. Au microscope, on constate que cette matière blanche est holocristalline et formée par de la micropegmatite moulant les grands cristaux intacts de sanidine. Les phénomènes de quartzification secondaire sont si fréquents dans les roches acides en place dans cette région, qu'il n'y a pas de raison pour ne pas admettre une semblable origine secondaire au quartz de ces bombes de krablite.

La parenté des *krablites* avec les *trachytes quartzifères* est rendue très probable par l'association au type très cristallin qui vient d'être décrit, de blocs de roches, à deux temps de consolidation, renfermant de grands cristaux d'orthose englobés dans une pâte microgranulitique à grands éléments, tandis que d'autres échantillons contiennent d'énormes sphérolites feldspathiques, comparables à ceux des pyromérides et englobés dans une pâte constituée par de grands microlites feldspathiques que moule du quartz.

On peut comparer à ces krablites la sanidinite que j'ai décrite p. 358 dans les tufs basaltiques du Chuquet Genestoux.

II. Trachytes à œgyrine.

Résumé et conclusions. — Les *trachytes à œgyrine* de San Miguel renferment en abondance des blocs de *sanidinites* tout à fait analogues à celles qui viennent d'être décrites dans les trachytes à biotite. Ils n'en diffèrent que

par l'existence plus ou moins fréquente de quelques minéraux rares (låvénite, astrophyllite, pyrrhite) et par la nature du pyroxène (œgyrine) et de l'amphibole (arfvedsonite) qu'ils renferment. Ces particularités minéralogiques s'expliquent bien du reste par la composition des trachytes à œgyrine, plus sodiques que les trachytes dont les sanidinites sont dépourvues de ces éléments particuliers.

Les sanidinites à œgyrine doivent être interprétées de la même façon que les sanidinites étudiées précédemment. Comme elles, elles renferment des minéraux drusiques et sont parfois quartzifiées par actions secondaires.

Au point de vue minéralogique, les sanidinites à œgyrine établissent le passage entre les sanidinites proprement dites et les enclaves grenues des phonolites, de même que les *trachytes à œgyrine* sont intermédiaires entre les *trachytes à biotite* et les *phonolites*.

J'ai rattaché à ce groupe, des sanidinites de la Réunion qui sont, selon toute vraisemblance, en relation avec des trachytes sodiques.

Açores. — Tous les géologues qui ont étudié les Açores et spécialement Webster, L. de Buch, Hartung, Hayes, Teschemacher ont signalé, parmi les produits de projection de l'île San Miguel, l'existence de roches grenues à feldspaths acides, aujourd'hui répandues dans toutes les collections. Ces roches se trouvent en blocs de dimension variable à Furnas, Agua de Pan, Lagoa do Fogo, Sete Cidades, Pico Alto, Pico das Camarinhas, et se rapportent au type *sanidinite*.

L'étude minéralogique de ces roches a été faite plus récemment par MM. Mügge[1], Osann[2] et Pacheco do Canto[3]. Les

1. *Neues Jahrb.* 1883, Bd. II, 193.
2. *Id.* 1888, Bd. I, p. 117.
3. *Recherches micrographiques sur quelques roches de l'île de San Miguel.* Lisbonne, 1888.

deux premiers auteurs les considèrent comme la forme grenue du *trachyte à œgyrine* qui les a amenées au jour, tandis que M. Pacheco do Canto en fait des enclaves enallogènes de roches anciennes, arrachées au sol par les éruptions trachytiques.

Les échantillons que j'ai étudiés ont été recueillis par M. Fouqué ou m'ont été donnés par MM. do Canto et Lima.

Ces *sanidinites* sont très cristallines, à structure miarolitique. Elles sont en grande partie constituées par du feldspath blanc ou rosé, à éclat plus mat que celui des sanidinites qui ont été étudiées jusqu'à présent. L'élément noir dominant, toujours peu développé du reste, est constitué par de l'amphibole arfvedsonite, du pyroxène ou du mica.

L'examen microscopique fait voir que les feldspaths appartiennent soit à l'orthose, soit à l'anorthose : ces feldspaths sont souvent groupés en associations microperthitiques. Ils sont généralement troubles comme ceux des roches anciennes; ils sont aplatis suivant g^1 (010) et parfois accompagnés d'oligoclase. L'amphibole verte ou brune dans un même cristal appartient au groupe de l'arfvedsonite.

L'augite verdâtre se transforme périphériquement en œgyrine; ce dernier minéral existe aussi pour lui-même. Il existe en outre un certain nombre de minéraux moins fréquents : la pyrrhite, le zircon, la låvenite, l'astrophyllite et une substance brun foncé très pléochroïque, très réfringente, que M. do Canto a appelée *açorite*, et dont la vraie nature n'est pas encore connue.

Les sanidinites de San Miguel présentent quelques variétés, dues à l'abondance plus ou moins grande des éléments colorés. M. do Canto les a longuement décrites.

J'ai dit plus haut que la roche possède la structure miarolitique. Dans les vides laissés entre eux par les feldspaths, se développent rarement de la sodalite et plus souvent du quartz, de l'œgyrine. On y trouve aussi de jolis petits octaèdres quadratiques b^1 (112) de zircon incolore ou jaunâtre qui ont été pris autrefois par Teschemacher pour un minéral spécial et décrits par lui sous le nom d'*azorite* ; enfin, des octaèdres réguliers a^1 (111) brun rouge de pyrrhite et des cristaux d'œgyrine. Enfin il existe parfois des cristaux de quartz à formes nettes; ils sont riches en inclusions aqueuses à bulle mobile.

L'analogie de composition minéralogique de ces sanidinites avec les *trachytes à œgyrine*, déjà signalée par Hartung, par MM. Mügge et Osann, me paraît évidente. La différence existant entre ces sanidinites et celles des roches acides des autres gisements, étudiés précédemment sont de l'ordre des différences existant entre les roches volcaniques des mêmes gisements, aussi je n'hésite pas à les considérer comme le résultat de la cristallisation en profondeur du magma qui s'est épanché à la surface sous la forme de trachyte à œgyrine. Il semble même probable que ces roches ont dû former des masses solides en place.

Quant au quartz, il est de nature secondaire et homologue de celui qui abonde dans les enclaves des Chazes, dans le Cantal, et dans les sanidinites de la Réunion.

Parmi les trachytes à *œgyrine* recueillis par M. Fouqué à Sete Cidades, j'ai observé un échantillon contenant un nodule d'environ 5^{cm} de diamètre, ayant la composition de la sanidinite que j'ai décrite page 250 (Pl. V, fig. 7), et qui, comme on l'a vu, s'est produite par sublimation autour d'un bloc de trachyte ancien au cours de l'épanchement de la roche englobante. La structure de cette roche est un peu différente de celle des *sanidinites* normales.

La Réunion. — J'ai eu l'occasion d'étudier deux échantillons de *sanidinite*, provenant de la rivière des Sables à la Réunion. Ils sont constitués par une roche à structure miarolitique, offrant la plus grande analogie avec les sanidinites du Lagoa do Fogo. Le feldspath blanc laiteux se présente en petits cristaux distincts dans les vides miarolitiques de la roche. Au microscope, on constate en outre l'existence d'œgyrine d'un vert extrêmement foncé, et celle d'arfvedsonite vert bleuâtre; ces minéraux sont englobés dans les feldspaths ou remplissent les cavités de la roche; un peu de pyroxène et de zircon, beaucoup d'hématite secondaire sont en outre à signaler.

Les interstices miarolitiques sont, par places, remplis par du quartz secondaire prismatique moulant toutes leurs aspérités. Les sections, presque perpendiculaires à l'axe de ces cristaux, montrent à leur périphérie des plages fibrolamellaires, à allongement négatif, qui viennent converger vers le centre du cristal. L'examen en lumière convergente montre, aussi bien dans ces parties fibreuses que dans les parties centrales homogènes, une croix noire plus ou moins disloquée avec signe positif. Ce sont là des formes élémentaires quartzeuses qui montrent bien l'identité du quartz et de la calcédoine.

Ces sanidinites, sur le gisement desquelles je n'ai pas de renseignements précis, n'ont jamais été signalées en place à la Réunion. Il est vraisemblable qu'elles présentent d'étroites relations avec des *trachytes* sodiques. Il existe à la Réunion des roches de ce groupe. Je dois à l'obligeance de M. Vélain des échantillons de ces trachytes, qu'il y a signalés après von Drasche. Ils possèdent les mêmes caractères extérieurs que quelques-uns de ceux des Açores, mais ne renferment pas d'œgyrine. Ils sont constitués presque exclusivement par des lamelles d'anorthose apla-

ties suivant g^1 (010), et donnant à la roche une structure rappelant un peu celle des phonolites. Il y a lieu de signaler quelques grands cristaux d'anorthose, l'abondance de l'hématite secondaire et enfin la formation de très jolis petits cristaux de quartz dans les cavités de la roche; ces derniers présentent les mêmes particularités optiques que ceux des *sanidinites*.

III. Trachytes à haüyne.

Résumé et conclusions. — Les *tufs trachytiques* du lac de Laach sont riches en *sanidinites à noséane* bien souvent décrites. Elles ont la structure des sanidinites étudiées dans les paragraphes précédents : elles en diffèrent par l'abondance de la *noséane*, et enfin par quelques minéraux drusiques spéciaux (pyrrhite, orthite, monazite, noséane, wernérites, etc.), qui viennent s'ajouter à ceux qui ont été déjà signalés dans les sanidinites françaises (zircon, sphène, sanidine, apatite, pyroxène, mica, magnétite, etc.).

Ces sanidinites à noséane peuvent être considérées comme le résultat de la cristallisation en profondeur d'un magma dont la forme microlitique est le trachyte à haüyne.

De nombreux échantillons renferment du verre, des phénomènes de corrosion et de recristallisation donnant naissance à des produits semblables à ceux de la pâte microlitique des trachytes. M. Bruhns a considéré ce verre comme primaire : je me suis prononcé pour son origine secondaire, supposant que les sanidinites ont dû constituer en profondeur des masses solides, disloquées au moment de l'éruption, et dont la fusion partielle suivie de recristallisation a pu donner des produits identiques au trachyte lui-même.

De même que dans les gisements de trachyte à biotite, on trouve à Laach des sanidinites dans lesquelles les minéraux ferrugineux sont abondants et sont parfois accompagnés de feldspath triclinique.

Enfin on rencontre des enclaves plus basiques encore, dépourvues de sanidine et de noséane, rappelant les enclaves basiques des andésites à hornblende. Je les considère comme des ségrégations basiques du magma trachytique : elles présentent des phénomènes de corrosion effectués par le trachyte englobant.

Quant aux bombes dépourvues de feldspath que l'on trouve dans le même gisement, elles ont peut-être aussi une même origine, bien que l'on puisse plutôt penser qu'elles sont en relation avec les roches des éruptions basiques antérieures à celles du trachyte.

Prusse rhénane. — *Lac de Laach*. Plusieurs fois déjà au cours de ce travail, j'ai eu à m'occuper des blocs très variés qui s'observent dans les *tufs trachytiques* du lac de Laach : les roches qu'il me reste à décrire sont fort célèbres, ce sont les *sanidinites* qui ont été spécialement étudiées par un grand nombre de savants et particulièrement par MM. Laspeyres[1], Wolf[2], Dressel[3], Hubbard[4] et enfin tout récemment par M. Bruhns[5].

Le travail de ce dernier savant a été publié depuis le dépôt de mon mémoire à l'Institut : il comprend notamment l'historique, la liste et la discussion des travaux antérieurs. Je crois donc inutile de revenir sur ces sujets pour lesquels je renvoie à l'ouvrage de M. Bruhns. Je

1. *Zeitschr. d. d. geol., Gesell.*, XVIII, 350. 1866.
2. *Id.*, XIX, 451, 1867 et XX, 1, 1868.
3. *N. Jahrb.*, 595, 1870.
4. *Tschermak's miner. u. petr. Mittheil.*, 356, 1887.
5. *Verhandl., naturh. Vereins Bonn.*, XLVIII, 282, 1892.

serai, en outre, fort bref sur la description de ces roches, aujourd'hui connues de tous les pétrographes. Les documents provenant des autres gisements étudiés dans mon mémoire rendent, du reste, assez facile la classification des divers produits dont j'ai à m'occuper ici.

Les échantillons que j'ai moi-même étudiés ont été recueillis en 1891, au cours de mon voyage dans l'Eifel.

De même que dans la plupart des gisements analogues, on peut distinguer, au lac de Laach, deux sortes d'enclaves homœogènes : les unes, qui ont une composition minéralogique analogue à celle du *trachyte à haüyne* qui les accompagne, sont pauvres en minéraux ferrugineux, ce sont les *sanidinites à noséane*; les autres, plus basiques, sont particulièrement riches en éléments colorés : il existe de nombreux passages entre ces deux catégories de produits.

a) *Sanidinites à noséane.* — Les sanidinites du lac de Laach sont des roches très cristallines, souvent friables, dans lesquelles on distingue, à l'œil nu, surtout de la sanidine et de la noséane avec quelques éléments ferrugineux (mica, hornblende, augite) généralement clairsemés. La structure est parfois feuilletée, quand la roche est très riche en feldspath aplati suivant g^1 (010) : elle rappelle, à ce point de vue, les granites à riebeckite du Colorado. Dans d'autres cas, elle est grenue à la façon d'une aplite. Plus souvent enfin, la roche est miarolitique.

Les minéraux constituant le plus habituellement ces sanidinites sont les suivants : magnétite, zircon, pyrrhite, sphène, apatite, biotite, hornblende, pyroxène, feldspath (orthose et anorthose), noséane ou haüyne et plus rarement scapolite. Ces divers minéraux se rencontrent souvent, soit dans des cavités irrégulières ou curvilignes, soit dans les interstices miarolitiques en très beaux cristaux qui ont été

particulièrement étudiés par vom Rath. Ce savant y a rencontré, en outre, des espèces plus rares telles que l'orthite, la monazite[1], etc. Nous avons vu que les éléments blancs étaient de beaucoup prédominants sur les minéraux ferrugineux.

Le zircon, le sphène, l'apatite, parfois très abondants ne présentent aucune particularité digne d'être notée : la biotite, l'augite verte et la hornblende sont celles que l'on rencontre dans les sanidinites d'Auvergne, décrites plus haut.

Quant à la pyrrhite en petits octaèdres, décrits autrefois par Wolf comme spinelle rouge, son identité avec la pyrrhite des sanidinites des Açores a été établie par M. Hubbard. En lames minces, elle se présente en grains ou en octaèdres jaune d'or, isotropes et très réfringents.

La noséane, fréquente dans les druses en cristaux b^1 (110) simples ou maclés suivant la loi ordinaire, présente des couleurs variées : elle est incolore, brunâtre, noirâtre, rarement rosée, etc. En lames minces, on constate qu'elle se présente soit en cristaux nets englobés dans le feldspath, soit en plages moulant ces derniers. Tantôt elle est limpide, dépourvue d'inclusions, tantôt au contraire, elle en renferme une très grande quantité (inclusions gazeuses, vitreuses avec bulle de gaz ou grains fer-

1. Vom Rath a décrit dans un échantillon des cristaux d'*hypersthène* (*amblystégite*) que je n'ai jamais rencontrés. Il me paraît fort probable que la roche étudiée par vom Rath devait être une roche ancienne modifiée. On a vu plus haut, en effet, qu'au lac de Laach, l'hypersthène est fréquent comme élément récent dans ce genre d'enclaves. Ce mode de gisement serait alors identique à celui du rocher du Capucin. M. Bruhns a bien retrouvé une seule fois ce minéral, mais la composition qu'il assigne à la roche qui le renferme (orthose, feldspath triclinique, mica, augite, magnétite) ne tranche pas la question. Si cet hypersthène se rencontre réellement dans une sanidinite, ce genre de gisement est unique.

rugineux, lamelles ou cristaux d'ilménite, d'oligiste, etc.) Ces inclusions sont tantôt distribuées d'une façon quelconque, tantôt géométriquement orientées suivant les axes cristallographiques ou les formes extérieures de la noséane (Pl. VI, fig. 1 et 6). L'abondance de ce minéral dans ces sanidinites avait conduit Hubbard à les désigner sous le nom de *noséanite*.

L'haüyne bleue est peu abondante, elle remplace la noséane, elle est souvent dépourvue d'inclusions. Je l'ai trouvée cependant en grande quantité dans des sanidinites enclavées dans les andésites augitiques de Niedermendig.

MM. Hubbard et Bruhns ont signalé, en outre, la néphéline que je n'ai pas moi-même rencontrée.

Les feldspaths sont constitués par de l'orthose, souvent accompagnée d'anorthose ; ils se trouvent en cristaux indépendants ou associés en microperthite. Les inclusions (vitreuses et gazeuses) sont peu abondantes.

La scapolite est beaucoup moins fréquente que les minéraux précédents : je n'en ai personnellement trouvé que dans un petit nombre d'échantillons. Elle y forme de grandes plages sans formes nettes (Pl. VI, fig. 1). Les clivages prismatiques sont soulignés par de longues inclusions vitreuses à bulle.

A ces éléments, il faut ajouter la calcite remplissant les cavités de la roche et ses fissures microscopiques. Elle est nettement secondaire, et il n'y a pas lieu de s'arrêter à l'opinion de Wolf, d'après laquelle ce minéral serait primaire.

L'ordre de consolidation des éléments de ces sanidinites est le même que dans les roches de ce genre précédemment étudiées. La noséane est soit antérieure, soit postérieure aux feldspaths. Quant à la scapolite, elle est, dans mes échantillons, postérieure à ces derniers minéraux

(Pl. VI, fig. 1). M. Bruhns, toutefois, considère tous ces éléments blancs comme contemporains.

L'aplatissement du feldspath suivant g^1 donne à ces sanidinites, comme à celles des autres gisements, un cachet très net. Parfois, les feldspaths sont enchevêtrés d'une façon quelconque (Pl. VI, fig. 11); dans d'autres cas, ils se groupent en gerbes, en éventails (Pl. VI, fig. 2 et 6). Les fig. 2, 6 et 11 de la Pl. VI représentent des roches dans lesquelles la noséane très abondante moule les feldspaths; dans la fig. 1, la scapolite joue le même rôle. Dans la fig. 10 de la même planche, au contraire, on voit une sanidinite très compacte dont la noséane globuleuse est entièrement englobée par la sanidine.

Dans quelques échantillons, j'ai observé une tendance à la formation de deux temps de cristallisation. De grands cristaux de sanidine y sont entourés par des cristaux de même forme, mais plus petits : ces roches sont des *microsanidinites* analogues à celles qui ont été décrites dans les gisements italiens. La seule différence à signaler consiste dans ce qu'ici, les plus petits cristaux de feldspath, au lieu d'être grenus, ont la même forme que les grands.

J'ai rencontré cette structure dans des échantillons riches en haüyne, recueillis en enclaves dans les andésites augitiques de Niedermendig. Je l'ai trouvée aussi dans quelques sanidinites de la Somma.

Peut-être est-ce à des sanidinites de ce type que Hubbard a voulu faire allusion en signalant des feldspaths de deux générations, dont une partie serait d'après lui le résultat de sublimation. Il est bien évident que tous ces feldspaths se sont produits suivant le même mode et que de petites différences dans les conditions de la cristallisation ont suffi pour déterminer ce genre de structure qui est une étape vers la structure microlitique.

Toutes les sanidinites du lac de Laach ne renferment pas de noséane, il en est d'uniquement feldspathiques, analogues à celles de Menet. Dans l'une d'elles, j'ai observé de beaux cristaux de corindon, qui sont du reste depuis longtemps connus dans ce gisement.

Je cite ici pour mémoire les roches feldspathiques à cordiérite et grenat, qui sont rangées parmi les sanidinites par beaucoup d'auteurs, et notamment par M. Bruhns, roches que je considère comme des enclaves enallogènes de roches anciennes modifiées et dont je me suis occupé page 226.

Toutes les sanidinites qui viennent d'être étudiées sont pauvres en éléments colorés, il en est d'autres, au contraire, dans lesquelles les minéraux ferrugineux sont extrêmement abondants : elles contiennent souvent du feldspath triclinique. Ce sont les syénites de Wolf : elles sont moins abondantes que les sanidinites normales.

La fig. 5 de la Pl. VI représente une de ces roches. On y observe les minéraux suivants : apatite, sphène, pyroxène, biotite, hornblende, noséane, sanidine et un peu d'olivine qui n'a pas été figurée.

Le pyroxène est une augite violacée, à centre vert possédant des extinctions très différentes de celles de la périphérie. La hornblende brune moule le pyroxène : les grandes lames de biotite englobent les deux minéraux précédents. L'orthose est le dernier élément consolidé : elle forme de grandes plages au milieu desquelles apparaissent les cristaux de noséane, riches en inclusions ferrugineuses.

Dans un autre échantillon (Pl. VI, fig. 9), le sphène et le pyroxène vert foncé forment de petits cristaux disséminés, avec grandes lames découpées de biotite, au milieu de plages irrégulières d'orthose accompagnées de noséane.

MM. Dittmar et Bruhns ont décrit un certain nombre d'échantillons de roches de ce genre renfermant à la fois

de la noséane, de la sanidine et du feldspath triclinique, et contenant parfois un peu de matière vitreuse : le feldspath triclinique étant d'autant plus abondant que les éléments ferrugineux sont eux-mêmes en plus grande quantité.

Avant d'aller plus loin, il y a lieu de rappeler la composition minéralogique des trachytes que l'on rencontre, associés aux sanidinites et qui en englobent souvent des fragments.

Ces trachytes peuvent se rapporter à deux types principaux : l'un de couleur claire est riche en haüyne, l'autre plus foncé contient de l'olivine et beaucoup de biotite [1].

Le *trachyte à haüyne* renferme les éléments suivants :

I. Apatite, zircon, sphène, magnétite et ilménite, sanidine, haüyne, feldspath triclinique, augite, hornblende et parfois biotite.

II. Orthose, un peu d'augite et de biotite avec du verre plus ou moins abondant.

Dans le trachyte à olivine, la haüyne est beaucoup moins fréquente, le feldspath triclinique ancien abondant : on observe parfois de grands cristaux de spinelle vert ; enfin, dans le magma microlitique, l'augite et la biotite se rencontrent en grande quantité. Ces roches sont des *trachytes augitiques et micacés à olivine.*

Dans tous ces trachytes, les grands cristaux sont très brisés, souvent profondément corrodés; les feldspaths (orthose et feldspath triclinique) sont fréquemment bordés par une mince zone d'orthose récente, cristallographique ment orientée sur eux.

La hornblende et la biotite sont généralement arrondies, mais ne présentent jamais de zones ferrugineuses de transformation, ce qui parait prouver que les phénomènes

1. Voir Bruhns, *op. cit.*, 289. La 1re variété, d'après ce savant, renferme 57, 40 0/0 de SiO^2, la seconde 49 0/0.

qui nous occupent se sont effectués en profondeur, alors que la roche était encore soumise à une forte pression, sans laquelle il semble que ces minéraux soient difficilement stables dans un magma fondu à haute température.

Il est inutile d'insister sur l'identité des propriétés des minéraux constituant les sanidinites et de ceux qui se rencontrent dans les divers types de trachyte, cette identité ayant été démontrée par de nombreux auteurs (Laspeyres, Bruhns, etc.).

Revenons maintenant aux sanidinites.

Toutes celles que nous avons passées en revue jusqu'ici étaient holocristallines, c'est-à-dire dépourvues de verre, et ne présentaient pas trace d'altération. Il n'en est pas toujours ainsi : quelques-unes d'entre elles, en effet, contiennent de la matière vitreuse.

Parmi celles que j'ai eu l'occasion d'étudier, il y a lieu d'établir deux groupes.

Dans l'un, la matière vitreuse brunâtre est dépourvue de recristallisations feldspathiques ; dans l'autre, au contraire, il existe en grande abondance des microlites d'orthose.

Passons d'abord en revue quelques échantillons du premier type.

Parfois ce verre brun est peu abondant, il remplit les interstices miarolitiques de la roche, les feldspaths qui le touchent ont des formes nettes. Ce verre semble être un résidu de la cristallisation, mais le plus souvent, on voit tous les minéraux en contact avec lui fondre sur leurs bords. Au milieu de ce verre, on rencontre souvent de grands cristaux d'augite verte profondément corrodés, ils sont parfois réduits à deux ou trois fragments, séparés les uns des autres par quelques dixièmes de millimètre, mais possédant encore la même orientation optique. Quelques

échantillons cependant semblent avoir recristallisé, car ils présentent des pointements nets; ils sont criblés d'inclusions vitreuses. Dans quelques cas, on peut constater dans les feldspaths des phénomènes de corrosion rectangulaire.

Les parties vitreuses de ces sanidinites font penser à celles que j'ai signalées plus haut dans les enclaves de granite de la même localité.

Dans d'autres échantillons, on voit tous les éléments, feldspath et pyroxène, traversés par des fissures remplies par du verre; dans quelques autres, tous les minéraux de la sanidinite sont brisés en fragments anguleux : la roche ressemble à une brèche cimentée par un peu de verre brun ; la noséane, en voie de fusion ou intacte, est d'ordinaire peu abondante.

Dans le second type, le verre se remplit de microlites feldspathiques présentant les formes les plus diverses. Tantôt ils sont enchevêtrés les uns dans les autres, tantôt ils forment des groupes sphérolitiques ou arborisés, qui viennent fréquemment s'implanter sur les fragments anciens. De nombreux feldspaths sont brisés en plusieurs morceaux, recimentés par du feldspath récent qui englobe les mêmes petits microlites d'augite et de biotite que l'on observe généralement, au milieu des microlites feldspathiques du verre recristallisé. Quand ces microlites sont très abondants, la roche passe insensiblement au véritable trachyte.

J'admets, pour les sanidinites de Laach, la même origine que pour celles de Menet, de Monac, etc.; ce sont des cristallisations effectuées en profondeur par la prise en masse du magma dont la forme microlitique est représentée par le trachyte à haüyne.

On voit que, comme dans les gisements précédents, il

existe dans ces sanidinites des phénomènes de corrosion qui sont ici particulièrement intenses.

On peut les expliquer facilement. La sanidinite, une fois consolidée en profondeur dans des conditions de tranquillité suffisante pour permettre la production d'une roche holocristalline grenue ou miarolitique, a été arrachée par l'éruption qui a amené au jour le trachyte.

Peut-être même, par suite d'un relèvement suffisant des lignes isothermes, ces sanidinites solidifiées en profondeur ont-elles pu, par leur fusion partielle, contribuer à la formation du trachyte lui-même qui, rappelons-le, n'existe dans ce gisement qu'à l'état de blocs de projection. Les passages insensibles des sanidinites intactes aux trachytes, par l'intermédiaire des sanidinites renfermant du verre, rend assez plausible cette hypothèse, dont la démonstration ne peut évidemment être faite.

L'existence de cette matière vitreuse dans certaines sanidinites a, du reste, depuis longtemps, appelé l'attention et M. Bruhns a longuement discuté la question de savoir si elle était d'origine primaire ou secondaire. Peut-être les échantillons très nombreux que ce savant a eus entre les mains étaient-ils différents des miens; dans tous les cas, nous ne sommes point d'accord sur cette question, M. Bruhns se prononçant nettement pour l'origine primaire de cette matière vitreuse.

M. Bruhns distingue les deux catégories de sanidinite à matière vitreuse que j'ai moi-même admises plus haut. Voici les raisons pour lesquelles il considère le verre de ces sanidinites comme primaire.

La matière vitreuse serait secondaire, dit-il, si les sanidinites, primordialement exemptes de toute trace de verre, étaient retombées après projection dans le magma en fusion. Alors, dans ces conditions nouvelles, elles se

seraient chargées de verre, soit par fusion de quelques-uns de leurs éléments, soit par pénétration de la matière fondue ambiante. Cette hypothèse paraît bien peu vraisemblable, dit l'auteur, si l'on songe que les cristaux de la sanidinite se sont formés, et par conséquent ont existé déjà dans le magma où l'on suppose qu'ils retombent. Il n'y a pas de raison pour que quelques-uns de leurs éléments cristallins subissent une refusion, d'autant plus que la sanidinite projetée s'est refroidie par son passage dans l'atmosphère, et qu'elle retombe à la surface du bain, c'est-à-dire dans une portion du magma fondu, certainement moins chaude que celle où elle a pris naissance. Il faut noter encore que cette partie du magma fondu renferme déjà, à l'état individualisé, des cristaux identiques à ceux qui font partie de la sanidinite.

Il n'y a pas lieu non plus d'admettre une action chimique, exercée par le magma basique sur les éléments acides de la sanidinite. En effet, le magma n'est en contact qu'avec la superficie de la bombe, et là, dit l'auteur, on ne constate aucune action chimique révélée par le microscope au contact des deux roches.

La limite entre la sanidinite et le trachyte est toujours nettement tranchée; on pourrait objecter, il est vrai, que certaines roches anciennes, offrant une disposition analogue, présentent des traces évidentes et incontestables de l'action du feu, mais M. Bruhns ajoute que cette objection n'est pas décisive, car les roches en question ont été englobées dans le magma à une grande profondeur, dans des points à température élevée, et y ont séjourné longtemps. Quand elles n'ont été soumises que peu de temps à l'action du magma, elle ne présentent tout au plus que de faibles modifications. Au contraire, ce qu'on observe dans les roches anciennes, soumises à l'action d'une haute tempéra-

ture, plaide contre la nature secondaire de la matière vitreuse dans les sanidinites. Quand un gneiss ou un granite se trouve naturellement ou artificiellement porté à très haute température, les minéraux qui le composent sont attaqués dans l'ordre de leur fusibilité. Par conséquent, dans les sanidinites, ce sont les silicates ferromagnésiens et la haüyne qui devraient fondre les premiers, et en dernier lieu le feldspath. Au lieu de cela, l'auteur trouve que tous les éléments sont également corrodés. La production du verre ne peut donc d'après lui être attribuée à la fusion des éléments de la sanidinite.

Comme preuve à l'appui de son opinion, M. Bruhns cite une préparation de sanidinite dans laquelle la sanidine et la noséane sont à peu près intactes, l'augite peu abondante est légèrement corrodée. Au milieu de tous ces éléments, s'étendent des bandes plus ou moins larges d'un verre brun foncé; si ce verre provenait d'une fusion d'augite ou de hornblende, dit-il, on le trouverait accumulé par places et, dans les points où il est compris entre deux cristaux de feldspath, sa teinte serait devenue plus claire par suite de l'attaque des feldspaths ambiants, puisque sa teneur en fer se serait abaissée. De plus, les inclusions vitreuses brunes que l'on trouve dans les minéraux de la sanidinite, par leur forme, leurs dimensions, et leur degré médiocre de fréquence, ne se différencient en rien des inclusions de même nature que l'on rencontre dans les minéraux correspondants du trachyte.

Enfin, on trouve un certain nombre de bombes à sanidine enveloppées de trachyte; elles semblent n'avoir subi aucune modification par l'action de la matière qui les revêt.

Les sanidinites, pauvres en matière vitreuse, renferment surtout de la noséane; au contraire, celles qui possèdent

une forte proportion de matière vitreuse ou de pâte renferment plutôt de l'haüyne bordée de bleu.

De même que M. Bruhns, je rejette l'hypothèse tendant à admettre que la matière vitreuse des sanidinites provient du magma trachytique, dans lequel seraient retombées les bombes des sanidinites après leur projection : aux arguments que présente ce savant, on peut du reste en ajouter un autre. Etant donné l'état de nos connaissances sur le mode d'épanchement des roches volcaniques acides, on peut douter que les blocs projetés par les éruptions trachytiques du lac de Laach, et retombant dans le cratère, y aient rencontré un milieu suffisamment plastique pour pouvoir y pénétrer profondément.

Il ne saurait être question ici d'action chimique exercée par un magma basique sur les éléments acides de la sanidinite. M. Bruhns a lui-même montré à l'aide d'analyses que les sanidinites avaient sensiblement la même composition que les trachytes. Or il est bien clair que c'est seulement le magma vitreux du trachyte dont on pourrait ici invoquer l'action, et il est évidemment plus acide que le trachyte complet. Notons de plus que les sanidinites riches en minéraux ferrugineux et les enclaves que nous étudierons plus loin sont beaucoup plus basiques que le trachyte complet, et présentent cependant les mêmes transformations que les sanidinites pauvres en éléments colorés.

J'ai fait remarquer plus haut la grande analogie des phénomènes de fusion des sanidinites à verre sans recristallisation feldspathique, avec ceux des bombes de granite du même gisement. Dans ces derniers, j'ai montré que ces modifications pouvaient être interprétées sans l'intervention d'agents chimiques extérieurs.

Dans les sanidinites que j'ai étudiées, la fusion s'effectue

sur les bords des cristaux, le long de leurs cassures : elle est maximum quand un cristal de pyroxène avoisine un feldspath. On voit ces minéraux fondre dans le verre. De même, la fusion s'effectue souvent au contact de la noséane et du feldspath ; la proportion de noséane qui existe dans mes sanidinites vitreuses est relativement faible par rapport à celle que l'on constate dans les sanidinites intactes : ce fait peut s'expliquer par la rapide fusion de ce minéral.

Dans l'hypothèse d'un verre primaire, la forme de l'enclave étant conservée, on ne comprendrait guère les dislocations si intenses subies par beaucoup de ces sanidinites, leurs profondes corrosions, et les recristallisations qui les accompagnent.

J'ai observé plusieurs bombes dans lesquelles il y avait un passage insensible entre le trachyte et la sanidinite, bien que la majorité des fragments de sanidinite, enclavés dans le trachyte, soient dépourvus de modifications de contact.

Le fait signalé par M. Bruhns, que les sanidinites riches en verre contiennent de la haüyne plutôt que de la noséane, est sans doute occasionné par une différence de composition chimique dans la masse fondue, et ne semble rien prouver au sujet de l'origine du verre qui a laissé déposer ce minéral.

En résumé, je crois devoir considérer comme secondaire le verre de toutes les sanidinites du lac de Laach que j'ai observées, sans nier toutefois, d'une façon générale, la possibilité de l'existence de matière vitreuse primaire dans une sanidinite si cette dernière est arrachée des profondeurs avant sa consolidation définitive. Il en existe en effet dans celles de quelques gisements italiens décrits plus loin.

M. Bruhns résume son intéressant mémoire en discutant les diverses théories, proposées pour expliquer l'ori-

gine des sanidinites du lac de Laach, rappelant que Dechen les a considérées comme d'anciens trachytes, que Laspeyres a regardé trachytes et sanidinites comme ne différant que par les conditions qui ont présidé à leur cristallisation, que Wolf les a décrites comme devant former en profondeur des filons produits par voie hydrothermale. Pour cette intéressante discussion, je renvoie au mémoire de M. Bruhns. Ce savant formule ainsi sa propre théorie : les sanidinites, aussi bien que les bombes à augite, hornblende, etc., qui seront étudiées plus loin, sont des concrétions intratelluriques formées aux dépens du magma trachytique. Il se demande ensuite si les sanidinites, considérées comme des ségrégations du trachyte, ne devaient pas être plus basiques que celui-ci, d'après la loi généralisée par M. Rosenbusch, alors qu'en réalité cette loi est infirmée par la plupart des sanidinites.

Je ferai remarquer que l'objection que se pose M. Bruhns n'existe plus, si l'on considère, comme je le fais, les sanidinites non plus comme des ségrégations du magma trachytique, mais comme le résultat de la cristallisation totale de ce magma.

M. Hubbard a décrit et figuré plusieurs échantillons de schistes anciens injectés par des agrégats grenus de sanidine, renfermant en outre de la noséane, de la scapolite, des cristaux de pyrrhite, de sphène, etc., agrégats qu'il considère comme identiques aux sanidinites normales.

Je n'ai eu entre les mains aucun échantillon de ce genre, mais il semble d'après les figures et les descriptions de cet auteur que l'on soit ici en présence de pseudosanidinites formées par résorption partielle et recristallisation effectuée au milieu d'enclaves de roches anciennes et analogues à celles que j'ai décrites au Capucin et à Menet.

b) Enclaves basiques. — En outre des divers types de

sanidinites qui viennent d'être passés en revue, on trouve au lac de Laach des roches feldspathiques, privées de noséane et riches en feldspath triclinique.

L'un des types que j'ai observé est holocristallin à grands éléments. L'apatite, le sphène et la magnétite sont très abondants : il existe du pyroxène violacé, de la hornblende brune et du feldspath triclinique (andésine ou labrador suivant les échantillons).

L'apatite forme souvent, avec les grandes plages de sphène et d'augite, une sorte de structure ophitique. La magnétite est en partie postérieure aux minéraux colorés. Le feldspath et le pyroxène sont parfois riches en inclusions vitreuses.

Ce type de roche est celui que l'on rencontre fréquemment dans les tufs andésitiques et les andésites du Plateau Central de la France.

Quelques échantillons renferment un peu de verre : les feldspaths ont alors des formes nettes, et il n'est pas rare de voir se former sur eux une bordure crénelée d'orthose.

Dans un échantillon d'une roche de ce genre, le feldspath triclinique est curieusement creusé de cavités irrégulières et capricieuses, quelques cristaux plus corrodés ont été divisés en fragments qui ont subi, les uns par rapport aux autres, de petits déplacements. Toutes les surfaces corrodées sont garnies d'une fine bordure continue d'orthose, cristallographiquement orientée sur les fragments anciens. Parfois même un grand cristal corrodé est entièrement entouré par de l'orthose qui englobe des microlites d'augite manquant dans le feldspath ancien.

Enfin un autre échantillon présente une structure rappelant celle de quelques-unes des enclaves du Riveau Grand. Il est riche en cristaux de sphène, en magnétite et en longues aiguilles d'apatite. Il contient en outre une

grande quantité de cristaux d'augite et de hornblende brune à formes nettes. Ces minéraux sont très allongés suivant l'axe vertical. Ils sont englobés par de larges plages de feldspath triclinique.

Sur quelques points, ce feldspath est remplacé par des microlites plumeux d'orthose, associés à des cristallites de biotite. Au contact du feldspath triclinique, ces microlites s'orientent sur lui.

Toutes ces enclaves doivent évidemment être considérées comme étant en relations étroites avec les trachytes de Laach. Les phénomènes de corrosion que je viens de signaler méritent une mention spéciale. On voit d'une façon constante que le feldspath le plus récent qui vient cristalliser dans les cavités de corrosion du feldspath triclinique, est toujours de l'orthose, c'est-à-dire qu'il est plus acide que le feldspath ancien ; d'autre part, la corrosion du feldspath n'est pas accompagnée de la résorption de la hornblende qui est aussi franche dans les roches sans trace de modifications que dans les roches les plus modifiées.

Il faut en conclure que ces corrosions des feldspaths se sont effectuées en profondeur dans des conditions telles que la hornblende était stable dans le magma fondu. On doit admettre que ces modifications ne se sont pas effectuées par le seul secours de la chaleur, qui eût affecté la hornblende avant le feldspath.

Ces diverses considérations me portent à admettre que les roches qui nous occupent ont constitué des ségrégations profondes, qui, à des étapes plus ou moins avancées de leur cristallisation, ont été charriées dans un magma plus acide qui les a imprégnées et plus ou moins transformées chimiquement. La dislocation de quelques-uns des éléments et les phénomènes mécaniques offerts par les feld-

spaths montrent très nettement que ces roches ont été arrachées du milieu où la cristallisation a commencé. Il importe peu de savoir si ces ségrégations se sont effectuées dans le trachyte à haüyne ou dans le trachyte à olivine, puisque ceux-ci sont intimement liés l'un à l'autre et proviennent certainement de la différentiation d'un même magma.

Enfin, la disparition du feldspath triclinique dans les enclaves qui viennent d'être décrites conduit à des roches plus basiques encore, constituées par de la hornblende, de l'augite, quelquefois du mica, toujours beaucoup d'apatite et de magnétite; ces roches peuvent être soit holocristallines, soit pourvues d'un résidu vitreux brunâtre [1]. M. Bruhns en signale une qui renfermait de l'olivine. Il les considère toutes comme étant en relation avec les trachytes.

Il est fort possible que ces enclaves basiques soient des dégradations des enclaves feldspathiques qui m'ont occupé plus haut, mais il faut faire remarquer qu'antérieurement à l'éruption du trachyte de Laach, il existait dans cette région des roches basiques plus anciennes (leucotéphrites, etc.), qui sont susceptibles de fournir des ségrégations du genre de celles dont il est question ici. Le fait même de trouver l'une de ces bombes englobée par un fragment de trachyte n'implique nullement comme conséquence nécessaire une communauté d'origine entre les deux roches : il est donc fort probable qu'une partie au moins de ces bombes à hornblende, augite, etc., sont en relation avec les roches volcaniques basiques dont je viens de parler. Nous nous trouvons en présence de la difficulté d'interprétation déjà signalée au sujet de l'Auvergne et

1. Ce sont les amphibolites de Wolf. Il ne s'agit pas là, bien entendu, des nodules à olivine que l'on trouve aussi au lac de Laach et qui n'ont, évidemment, rien de commun avec les trachytes à haüyne.

qui se représente dans toutes les régions où se rencontrent superposées des éruptions de roches volcaniques de basicité différente.

IV. — Phonolites et leucitophyres.

Résumé et conclusions. — Les roches de la famille des phonolites (*phonolites* et *leucitophyres*) renferment assez fréquemment des enclaves homœogènes parmi lesquelles on peut, comme dans les trachytes, distinguer deux groupes de produits, les uns ayant la composition moyenne de la roche volcanique englobante, les autres étant formés de quelques-uns seulement des éléments de cette dernière.

L'intérêt des enclaves du premier groupe est augmenté par l'identité de composition chimique et de structure des roches qui le constituent avec les syénites néphéliniques anciennes. Nulle part ailleurs n'apparaissent plus clairement les relations intimes de la roche volcanique et de ses enclaves et il n'est point inutile de faire remarquer que l'on trouve dans les faits qui nous occupent la réciproque de ce qui s'observe dans un grand nombre de gisements de syénites néphéliniques anciennes qui sont traversées par des filons ou accompagnées de véritables nappes d'épanchement de roches phonolitiques (Brésil, Canada, etc.). On peut, sans difficulté, admettre que le même mécanisme a permis aux époques postcrétacées la fréquente consolidation en profondeur d'une partie du magma sous la forme d'une roche holocristalline et granitoïde (*syénite néphélinique*) dont les débris ont été apportés au jour par les *phonolites*.

Un grand nombre des échantillons que j'ai étudiés (Cantal, Höhgau, etc.) présentent en effet les caractères de

roches solides arrachées en place. Quelques-uns d'entre eux possèdent la structure aplitique ou même une tendance à la formation de microsyénites, analogues aux microsanidinites étudiées plus haut : il est permis de supposer que leur cristallisation s'est effectuée dans le trajet filonien du magma et à proximité d'une paroi. Il ne paraît pas possible de préciser davantage et de savoir si, d'une façon générale, ces cristallisations grenues du magma phonolitique se sont effectuées plus ou moins en profondeur.

A côté de ces enclaves qui me semblent ainsi avoir formé des masses solides en place, il y en a aussi quelques-unes de même composition qui paraissent s'être produites dans la phonolite par exagération locale de la cristallinité de cette roche.

Au point de vue minéralogique, toutes ces enclaves de syénites néphéliniques renferment un pyroxène (augite, augite œgyrinique, œgyrine), quelquefois de la biotite, de l'orthose, de l'anorthose, de la néphéline, généralement accompagnée et souvent remplacée par un minéral cubique du groupe haüyne-sodalite.

Quelques minéraux accessoires, tels que l'apatite, le zircon, la låvénite (Haute-Loire), la pyrrhite (Cantal), le sphène, la magnétite ou l'ilménite peuvent parfois devenir assez abondants.

Il est intéressant de remarquer que, sauf de très rares exceptions (Rieden, San Antaô, Canaries), l'amphibole, si abondante dans les sanidinites des trachytes, manque dans nos syénites, la roche volcanique qui les englobe n'en renfermant pas davantage; de même la låvénite existe (le Pertuis) dans les syénites néphéliniques dont la phonolite englobante contient le même minéral. Ces deux faits constituent un argument de plus en faveur de l'unité du magma d'où proviennent à la fois la phonolite et ses enclaves.

La structure de ces syénites est rarement grenue (Pl. VII, fig. 5); le plus généralement, celles-ci offrent la structure des syénites néphéliniques de Pouzac, de Foya, du Brésil, etc. Les feldspaths, enchevêtrés les uns dans les autres, laissent entre eux des interstices qui sont remplis par la néphéline et le minéral cubique (haüyne ou sodalite) (Pl. VI, fig. 12; Pl. VII, fig. 4, 7, 8 et 12) : ces derniers minéraux présentent des formes géométriques quand ils sont inclus dans les feldspaths. Cette structure est aussi, on le voit, la même que celle des *sanidinites*, mais ici les interstices miarolitiques étant entièrement comblés, il n'existe pas de minéraux drusiques comme dans ces dernières roches.

J'ai dit plus haut que, dans quelques gisements, on trouve des syénites finement grenues (Pl. VIII, fig. 9) et d'autres qui présentent une tendance à la formation de deux temps distincts de consolidation conduisant à des microsyénites. Assez rarement, la néphéline et la sodalite viennent à manquer (Brocq). Au contact des enclaves, la phonolite cristallise souvent plus largement et se charge de sodalite (Pl VII, fig. 2 et 3).

L'abondance plus ou moins grande des éléments colorés et leur nature permettent d'établir parmi ces syénites plusieurs variétés pétrographiques que j'ai étudiées en détail.

Le second groupe d'enclaves que nous avons à considérer présente deux types bien distincts, tous deux plus basiques que la roche englobante, dont ils constituent des ségrégations.

J'ai rencontré le premier type dans les phonolites feldspathiques du Plateau Central de la France : il rappelle celui des ségrégations basiques des trachytes du Mont Dore et constitue des fragments arrondis de couleur foncée, riches en *hornblende*. Ces enclaves contiennent souvent en outre de la biotite, de l'augite, de l'apatite, plus rarement de la

sodalite et de l'olivine : le feldspath est soit de l'orthose, soit un feldspath triclinique (oligoclase ou andésine). La structure est parfois diabasique avec des passages à la structure franchement microlitique. Ces roches rappellent les andésites (porphyrites) amphiboliques (*camptonites*) qui *accompagnent souvent les syénites néphéliniques anciennes*; il existe des passages graduels entre ces enclaves et la phonolite dont elles constituent des ségrégations basiques. Au Puy Griou, dans le Cantal, les liens étroits qui lient les deux roches sont mis en évidence par l'existence dans la phonolite à la fois de hornblende et d'olivine, identiques à celles des enclaves.

Dans les gisements du Plateau Central, où ce genre de ségrégation est fréquent, je n'ai point rencontré d'enclaves de syénites néphéliniques.

Il n'en est plus de même pour la plupart des gisements qui renferment le second type d'enclaves; on y trouve, en effet, en même temps, des enclaves de syénites néphéliniques parfois peu abondantes (Kaiserstuhl), parfois prédominantes (Höhgau).

Ces enclaves peuvent renfermer les éléments suivants : apatite, ilménite, grenat mélanite, sphène, pyroxène, biotite, sodalite ou haüyne (ittnérite), néphéline, rarement pérowskite (Kaiserstuhl).

Souvent l'haüyne est prédominante; quelquefois c'est, au contraire, le grenat ou l'ilménite qui sont les éléments les plus abondants. Les variations dans les proportions relatives de ces divers minéraux donnent lieu à des types pétrographiques assez variés, généralement à très grands éléments (Pl. VI, fig. 3 et 7 et Pl. VII, fig. 1).

L'introduction d'orthose en grandes plages conduit au type précédent (syénites néphéliniques) : dans quelques échantillons du Kaiserstuhl, ce feldspath est microlitique,

très clairsemé; il donne à ces enclaves l'apparence d'une phonolite qui serait presque réduite à ses grands cristaux intratelluriques.

Plusieurs des échantillons du Kaiserstuhl que j'ai étudiés étaient globulaires, hérissés de cristaux de grenat, semblant indiquer une formation en place dans la phonolite encore pâteuse.

De même que pour la hornblende des enclaves amphiboliques d'Auvergne, il est intéressant de faire remarquer que l'existence du grenat dans ces enclaves est liée à celle du même minéral dans la roche volcanique englobante (Kaiserstuhl), alors qu'il manque dans les enclaves des phonolites qui ne sont pas grenatifères (Höhgau).

Il n'y a pas de distinction à faire entre les enclaves des leucitophyres et celles des phonolites : je renvoie au paragraphe suivant la discussion des enclaves leucitiques des tufs de l'Italie méridionale.

En traitant des ségrégations basiques des trachytes et andésites, j'ai fait remarquer combien elles se rapprochaient de certaines enclaves des roches feldspathiques plus basiques, telles que les andésites augitiques et les basaltes : une observation analogue s'impose ici et l'on peut rapprocher au point de vue de la composition chimique et minéralogique les enclaves à haüyne des leucitophyres du Kaiserstuhl des enclaves qui seront étudiées plus loin dans les néphélinites et les leucitites.

Plateau Central de la France. — J'ai particulièrement étudié, au point de vue de la recherche des enclaves, les *phonolites néphéliniques* d'un certain nombre de points du Puy-de-Dôme, du Cantal et du Velay. Les gisements de Valette, près Trizac, de Brocq en Menet, de

Vensac dans le Cantal, du Pertuis dans la Haute-Loire, m'ont fourni des enclaves de ce groupe; en raison des résultats obtenus dans le nombre relativement restreint de gisements que j'ai parcourus, il est probable que les enclaves de ce genre ne sont pas rares dans le Plateau Central. Afin d'éviter les répétitions, je ne séparerai pas dans cette étude les échantillons des divers gisements.

a) *Syénites à néphéline ou sodalite.* — A Brocq, les enclaves se rencontrent non seulement dans la phonolite massive, mais surtout dans les tufs qu'elle recouvre. Ces tufs sont en outre riches en fragments de gneiss, de granulite non modifiés, d'andésite. M. Fouqué les a considéré comme liés aux éruptions andésitiques voisines[1].

Toutes ces enclaves, quel que soit leur gisement, présentent des caractères communs; elles sont très feldspathiques et pauvres en minéraux colorés. En général, elles sont remarquablement intactes. A Brocq, elles atteignent dans les tufs des dimensions assez considérables, j'en ai rencontré des blocs de trois décimètres de diamètre; le plus grand nombre toutefois ne dépasse guère la grosseur des deux poings.

Dans la phonolite de Brocq, les enclaves sont rares; les quatre échantillons que j'ai recueillis avaient environ 5 ^{cm} de plus grande dimension. Dans les autres gisements, ils sont de plus petite taille. Dans la phonolite qui affleure sur la route de Riom ès Montagnes à Trizac (entre ce village et celui de Valette), j'ai, en outre, trouvé en 1890 un fragment de cristal de sodalite bleue de 5 ^{cm} de diamètre; un autre échantillon plus petit à été ramassé dans la carrière de Valette.

Les minéraux constituant ces enclaves grenues sont les suivants : *magnétite*, *pyrrhite*, *zircon*, *sphène*, *biotite*,

1. *Carte géol. détaillée de la France* (feuille de Mauriac).

pyroxènes (*augite et œgyrine*), *lâvenite*, *néphéline*, *sodalite*, *orthose et anorthose*, des produits secondaires (mésotype, calcite) et enfin un minéral associé à la lâvenite que je n'ai pu déterminer, faute de sections convenables (rinkite ?).

Le zircon est de grande dimension ; ses cristaux rouges rappellent ceux des enclaves d'Espaly et des sanidinites de Menet, ils peuvent atteindre 0^{cm} 25 (Brocq). Ils sont allongés suivant la zone prismatique et présentent les faces m (110), h^1 (100), b^1 (112), a_2 (312). En lames minces, ils restent rosés ; les clivages prismatiques sont très nets. Ils renferment en inclusions la biotite, la pyrrhite et quelques cristaux moulent même la sodalite et l'orthose, ainsi que je l'ai observé dans des syénites néphéliniques de Montréal et dans des granites sodiques à riebeckite du Colorado. Dans ces dernières roches, le zircon présente une forme très différente, il est constitué par des octaèdres obtus. La postériorité du zircon aux feldspaths semble être spéciale aux roches sodiques.

La pyrrhite forme des octaèdres a^1 (111) ou des grains arrondis, atteignant 0^{mm} 5 (Brocq). Ils sont d'un beau jaune d'or, parfois tacheté de brun. Très réfringents, absolument isotropes, ils sont identiques à la pyrrhite des sanidinites des Açores. Ce minéral, qui est l'élément le plus ancien de la roche, se trouve inclus dans tous les autres éléments ; il n'en contient jamais aucun en inclusions. La pyrrhite accompagne le zircon, elle disparaît avec lui dans les enclaves qui en sont dépourvues.

Le sphène se rencontre en cristaux nets dans les enclaves contenant du pyroxène ; je l'ai observé entourant de la lâvénite à la façon du rutile englobant de l'ilménite ou de la pérowskite.

La biotite est brune, très pléochroïque ; ses lamelles

sont incluses parfois dans le zircon (Brocq); elles sont quelquefois postérieures au feldspath avec lequel elles forment souvent une sorte de structure ophitique (Pl. VII, fig. 4). Ce minéral se rencontre dans les enclaves dépourvues de pyroxène. Il est sensiblement à un axe.

Les pyroxènes n'existent que dans quelques-unes de nos enclaves (Pertuis). Ils sont constitués par de l'œgyrine ou par une augite vert foncé pléochroïque, analogue à celle qui sera décrite dans les enclaves du Kaiserstuhl, L'augite se transforme fréquemment sur les bords en œgyrine. Celle-ci n'a souvent pas de formes propres; elle est alors postérieure au feldspath avec lequel elle se dispose sous forme ophitique (Pl. VII, fig. 11). La magnétite se groupe quelquefois autour des pyroxènes.

La låvénite ne s'est rencontrée que dans une seule catégorie d'enclaves, celle qui est représentée par les fig. 2, 7 et 11 de la Pl. VII. J'ai déjà signalé ce minéral dans plusieurs phonolites du Velay[1]. Il affecte ici les formes qu'il possède dans les sanidinites des Açores et dans les syénites néphéliniques du Brésil, etc. Les cristaux atteignent parfois 0^{mm} 5; ils sont d'un beau jaune d'or, doués d'une biréfringence maxima de $\mathbf{n}_g - \mathbf{n}_p = 0{,}03$ et présentent souvent des groupements à axes parallèles d'un certain nombre d'individus. Ils sont allongés suivant la zone verticale et présentent des pointements aigus; assez souvent ils forment des agrégats fibreux. La macle h^1 (100) est fréquente avec extinction symétrique d'environ 30° dans la face g^1 (010), de part et d'autre de la ligne de macle. Le pléochroïsme est très intense avec suivant :

$\mathbf{n}_g$ = jaune d'or
$\mathbf{n}_m$ = incolore
$\mathbf{n}_p$ = incolore

1. *Bull. Soc. minér.*, XIV, 15, 1891.

Le maximum de pléochroïsme a lieu obliquement à l'allongement, puisque c'est n_p qui est le plus voisin de l'axe vertical. Tous ces caractères sont suffisants pour qu'il n'y ait pas doute dans la détermination de la låvénite. Il est important de faire remarquer que la lavénite se rencontre précisément dans les enclaves des phonolites qui ren ferment le même minéral.

La néphéline, très abondante dans les syénites des tufs de Brocq, l'est moins dans celles du Pertuis; elle forme des plages atteignant plusieurs millimètres. Les clivages prismatiques sont nets, exagérés par l'altération. La néphéline est rarement automorphe; elle est alors englobée par les feldspaths; elle les moule d'ordinaire. En lumière naturelle, elle se distingue des feldspaths par sa limpidité. En lumière polarisée parallèle, par sa biréfringence plus faible et ses propriétés optiques ordinaires. Elle se transforme en une matière colloïde conservant et exagérant même l'apparence fibreuse que présente la néphéline en voie d'altération ; elle fixe quelquefois un pigment ferrugineux et devient rose ou brunâtre. La décomposition de la néphéline ne donne lieu à aucun minéral cristallisé.

La sodalite existe soit en rhombododécaèdres b^1 (110) englobés par les feldspaths, soit en grandes plages moulant ces derniers minéraux. Elle est dépourvue d'inclusions et se transforme en une substance analogue à celle qui prend naissance par la décomposition de la néphéline. La sodalite est parcourue par des cassures curvilignes suivant lesquelles s'opère la décomposition qui, partie de la périphérie de la plage, gagne de proche en proche, laissant çà et là des îlots du minéral intact : celui-ci, par son absence de couleur et sa limpidité se distingue du produit de son altération. La néphéline et la sodalite sont parfois associées; leurs produits d'altération se reconnaissent facile-

ment, celui de la néphéline étant toujours fibreux, tandis que celui de la sodalite garde la trace des cassures curvilignes de la sodalite.

J'ai signalé plus haut l'existence d'enclaves de grande taille de sodalite au milieu de la phonolite de Valette. Cette sodalite forme des masses globulaires bleues à éclat gras, possédant des clivages rhombododécaédriques des plus nets.

Dans les enclaves de Valette, la sodalite se transforme en un agrégat de petites plages de mésotype.

Le feldspath dominant est l'orthose monoclinique, parfois maclée suivant la loi de Carlsbad avec angle d'extinction de 0° sur *p* (001) et de 7° sur g^1 (010). Cependant certaines enclaves des tufs de Brocq, riches en sodalite, sont presque exclusivement constituées par de l'anorthose seule ou associée en microperthite avec de l'orthose; les macles suivant la loi de l'albite sont fort nettes; les bandes hémitropes ont des contours très accentués. Ces associations microperthitiques d'orthose et d'anorthose sont identiques à celles des syénites néphéliniques de Pouzac.

Tous ces feldspaths sont aplatis suivant g^1 (010). Les sections minces les montrent sous forme de longues baguettes souvent groupées en gerbes.

Un échantillon de Vensac renferme un peu d'oligoclase. Les minéraux secondaires sont des zéolites et de la calcite: celle-ci remplit les cavités miarolitiques de fines cassures parcourant tous les éléments blancs.

La mésotype forme de petites houppes ou de petites aiguilles entrelacées épigénisant la sodalite.

Dans une enclave du Pertuis, j'ai observé accidentellement un minéral brun rouge foncé qui semble être de la pseudobrookite. Enfin dans ce même gisement se trouve

un minéral monoclinique que je n'ai pu rapporter à aucune espèce connue.

Les enclaves décrites dans ce chapitre peuvent, d'après leur composition minéralogique, être rapportées à trois types :

α. *Syénite néphélinique à biotite.*

β. *Syénite à sodalite et biotite.*

γ. *Syénite néphélinique à pyroxène.*

α. *Syénite néphélinique à biotite.* — Les enclaves de ce type proviennent des tufs de Brocq. Ce sont des roches à grands éléments, très tenaces, superficiellement altérées. A l'œil nu, on y distingue les feldspaths allongés et aplatis, laissant entre eux des vides polyédriques, remplis par la néphéline jaunie par les produits secondaires; du zircon rouge et des lamelles de biotite sont clairsemés au milieu des éléments précédents. Les feldspaths sont moulés par la néphéline dont les plages atteignent 3 ^{mm}. La biotite est souvent ophitique par rapport aux feldspaths comme dans la fig. 4 de la Pl. VII.

β. *Syénite à sodalite et biotite.* — Ce type possède les mêmes caractères extérieurs que la variété précédente ; les surfaces altérées à l'air sont parfois caverneuses par suite de la disparition de la sodalite. C'est le type dominant dans les tufs de Brocq. Les blocs de grande dimension sont intacts au centre et tout à fait massifs, sans trace de cavités. La composition minéralogique est semblable à celle de la roche précédente avec cette différence que la néphéline y est remplacée par la sodalite. Des termes de passage dans lesquels la néphéline et la sodalite existent ensemble se rencontrent fréquemment (Brocq).

Il y a deux variétés à considérer; dans l'une les feldspaths sont constitués par de l'anorthose dominante, par places associée en microperthite avec l'orthose (cette

dernière forme la partie périphérique de l'assemblage (Pl. VII, fig. 8). La pyrrhite accompagne le zircon qui est assez abondant.

La seconde variété ne renferme que de l'orthose en fait de feldspath, la pyrrhite est rare ou absente.

Les enclaves des deux variétés sont fortement chargées de calcite qui remplit des cavités miarolitiques, ou parcourt sodalite et feldspaths, tapissant leurs nombreuses fissures. La figure 3 de la Pl. VII représente la structure de l'une de ces roches riches en calcite. Elle fait voir, en outre, un agrégat de longs microlites étoilés, moulés par de la calcite ; ils sont de formation postérieure à la roche, et se sont produits dans une cavité ou au contact de la roche qui a englobé l'enclave. Nous verrons plus loin la répétition de faits semblables.

La sodalite de ces enclaves est parfois transformée en mésotype (Valette).

γ. *Syénite néphélinique à pyroxène.* — Les enclaves de ce dernier type offrent l'aspect extérieur des syénites néphéliniques à grains fins. Elles en ont aussi la structure. Elles proviennent du Pertuis.

Le feldspath dominant est l'orthose accompagné souvent d'anorthose à fines lamelles hémitropes à bords indécis. Il constitue de grands cristaux aplatis, frangés sur les bords et souvent accompagnés de feldspaths de même nature et de même forme, mais de plus petite taille (Pl. VII, fig. 7 et 11) ; ces derniers sont accompagnés d'œgyrine formant parfois avec eux une structure ophitique. Il y a là tendance à deux temps distincts de consolidation.

Le sphène et la låvenite sont plus ou moins abondants.

Ces enclaves offrent une grande analogie avec les syénites néphéliniques trachytoïdes de la Sierra de Monchique et du Brésil.

Dans un échantillon, j'ai observé de grands moules de hornblende (?), constitués par des grains de magnétite, mélangés de pyroxène monoclinique.

Dans ces enclaves, le feldspath est de beaucoup l'élément blanc dominant; la sodalite existe surtout en cristaux automorphes; la néphéline est peu abondante.

La fig. 2 de la Pl. VII représente le contact d'une enclave très feldspathique du Pertuis avec la phonolite. Les microlites d'orthose de la phonolite sont venus en grand nombre se grouper autour des grands cristaux feldspathiques de l'enclave, tantôt s'empilant sur leurs bords, tantôt s'orientant cristallographiquement sur eux. Dans les cavités de l'enclave, se développent de grandes lames d'orthose aplaties suivant g^1 (010) et maclées suivant la loi de Carlsbad; elles englobent de gros rhombododécaèdres de sodalite et un peu de néphéline. Ceux-ci sont moulés par de la matière vitreuse et par de l'œgyrine. Un peu de pseudobrookite s'observait aussi dans cette roche. Nous avons vu des phénomènes de ce genre se produire au contact des trachytes et de leurs sanidinites (Pl. V, fig. 8).

Cette enclave est intéressante, car elle montre que la cristallisation de la phonolite devient plus active autour d'un noyau feldspathique déjà consolidé. Elle fait voir la propriété que possède cette roche de laisser déposer de la sodalite et de la néphéline quand elle cristallise dans des conditions favorables.

Toutes les enclaves passées en revue et particulièrement celles des deux premiers types sont d'une richesse extraordinaire en inclusions gazeuses qui remplissent surtout les feldspaths, inclusions disposées suivant des clivages ou formant de nombreuses traînées curvilignes. Elles sont identiques à celles que l'on fait naître dans les feldspaths en les portant à une haute température, et semblent

indiquer que ces enclaves ont formé des roches solides en place en profondeur.

Dans les phonolites de quelques gisements du Plateau Central et particulièrement dans celles de Lafond, près Thiézac, et dans des blocs phonolitiques recueillis dans la brèche andésitique de Liadouze, près Mandaille (Cantal), j'ai observé de petits nodules très cristallins, ayant une certaine analogie avec les syénites néphéliniques qui viennent d'être décrites, mais qui semblent dus à des réunions des grands cristaux de la phonolite.

b) *Sanidinites.* — J'ai trouvé dans les tufs de Brocq des roches grenues dépourvues de néphéline et de sodalite et constituées exclusivement de sanidine et d'anorthose avec une petite quantité de biotite et de zircon. Elles sont très analogues à celles de Menet.

c) *Enclaves basiques.* — Dans un assez grand nombre des gisements de *phonolite feldspathique* du Plateau Central de la France, on rencontre des enclaves basiques, riches en hornblende. Elles présentent presque toujours le même caractère. J'ai déjà brièvement décrit quelques-unes d'entre elles[1]; depuis lors, de nombreux échantillons nouveaux me permettent de compléter leur description en modifiant mes conclusions au sujet de leur nature.

Le type le plus net de ces enclaves abonde au Puy Griou (Cantal). C'est une roche noire, dans laquelle on distingue à l'œil nu beaucoup de hornblende. Les cavités sont fréquemment tapissées par de l'analcime. Les échantillons que j'ai étudiés m'ont été remis par MM. Fouqué, Gentil et Rames.

Au microscope, on constate que la roche est extrêmement riche en longs cristaux de hornblende brune, de

1. *Bull. Soc. géol.*, 3e sér., XVIII, 873.

deux grandeurs différentes, simulant les deux temps de consolidation des *andésites* (porphyrites) *amphiboliques* filoniennes anciennes (*camptonites*). Ces cristaux nets d'amphibole, associés à un peu de sphène, de pyroxène, de biotite et de magnétite, sont englobés par de grandes plages de sanidine et quelquefois de feldspath triclinique (oligoclase ou andésine).

Certains échantillons sont riches en grands cristaux d'olivine, minéral qui, de même que la hornblende, existe aussi dans la *phonolite* englobante du Puy Griou.

Très fréquemment, il existe dans la roche de petites plages globulaires, presque exclusivement constituées par du feldspath, avec un peu de sodalite calcifiée ou transformée en zéolites. Dans d'autres cas, on voit se former des nodules ou des trainées dans lesquelles l'orthose domine en grands cristaux aplatis suivant g^1 (010), englobant des dodécaèdres d'un minéral incolore du groupe haüyne-sodalite. Ces cristaux de feldspath s'enchevêtrent et leurs intervalles sont remplis par de la néphéline, par le minéral dodécaédrique dont il vient d'être parlé, et enfin par de l'œgyrine, qui n'existe pas normalement dans la phonolite du Puy Griou.

Le premier type décrit ressemble aux enclaves diabasiques des *trachytes* du Mont-Dore. Les zones feldspathiques que je viens de décrire sont, sur une petite surface, identiques aux véritables *syénites néphéliniques* trouvées en enclaves dans les phonolites d'autres gisements.

Il y a passage insensible de ces deux types entre eux et avec la phonolite englobante. Les relations intimes que j'avais supposées autrefois entre ces enclaves et la phonolite existent donc bien, mais il me semble aujourd'hui nécessaire d'admettre, en outre, que ces roches ont cristallisé

dans la phonolite par ségrégation de quelques-uns de ses éléments.

J'ai recueilli à Valette des enclaves à apparence de diabase : elles sont plus riches en feldspath triclinique qu'en éléments colorés : ces derniers sont constitués presque en égale partie par de l'augite, de la hornblende et de la biotite. Ces enclaves à grands éléments sont tellement zéolitisées que leur étude devient peu intéressante.

Des enclaves du même genre, mais riches en sphène, apatite et hornblende se rencontrent dans la phonolite de la Roche Sanadoire au Mont-Dore. Enfin, dans la même région, à la Malviale, M. Michel Lévy a trouvé des enclaves identiques au premier type du Puy Griou : ce sont elles que j'ai plus particulièrement étudiées dans le mémoire cité plus haut. Leurs cavités sont remplies par de la calcite sphérolitique, de l'aragonite et de l'analcime.

Höhgau. — Les *phonolites* du Höhgau m'ont fourni un très grand nombre d'enclaves grenues que j'ai déjà brièvement décrites [1]. Tous les pitons phonolitiques de la région en renferment, bien qu'en nombre variable. Les gisements les plus spécialement intéressants à ce point de vue sont le flanc sud du Hohentwiel et la petite carrière de Gennersbohl, près Hilzingen. A Mägdberg et Hohenkrähen, j'en ai recueilli quelques-unes aussi.

Comme dans les autres gisements, ces enclaves peuvent se diviser en deux groupes.

Sur le flanc sud du Hohentwiel et à Gennersbohl, le type dominant est une roche très feldspathique pauvre en éléments colorés, dans laquelle on distingue à l'œil nu de la mésotype jaune, rougeâtre, moulant des sections allongées de feldspath. Ces roches ressemblent beaucoup aux enclaves de Brocq décrites plus haut. Elles atteignent par-

1. *C. Rendus*, CXII, 1323, 1891.

fois deux décimètres de plus grande dimension. Sur le flanc nord du Hohentwiel, ainsi qu'à Mägdberg et à Hohenkrähen, les enclaves sont, en général, de petite taille et de couleur très foncée; l'examen microscopique montre que le feldspath manque en général; elles sont à comparer aux enclaves du type dominant à Oberbergen dont elles n'atteignent jamais la grande taille.

Les minéraux constitutifs de toutes ces enclaves sont les suivants : apatite, zircon, pyrrhite, sphène, rinkite(?), pyroxènes (augite et œgyrine), biotite, sodalite ou noséane, néphéline, orthose, mésotype, wollastonite, calcite.

Le zircon, peu fréquent, a les formes et les dimensions de celui des enclaves de Brocq et de Menet (Cantal). La pyrrhite est très rare en octaèdres jaune d'or.

Le sphène, surtout abondant dans les enclaves non feldspathiques, forme des cristaux nets, parfois de grande taille.

J'ai observé dans plusieurs échantillons de petites baguettes d'un minéral incolore qui semble devoir être rapporté à la rinkite.

Les pyroxènes, comme dans les enclaves du Plateau Central et du Kaiserstuhl, sont constitués par de l'augite et de l'œgyrine. Ce dernier minéral y est très abondant; on a vu plus haut qu'il se produit surtout par voie secondaire soit par épigénie de l'augite, soit par cristallisation directe au milieu de la mésotype. Dans les enclaves non feldspathiques, il existe un pyroxène violacé clair verdissant par voie secondaire et identique à celui des enclaves similaires du Kaiserstuhl. Dans les enclaves feldspathiques, au contraire, le pyroxène est en général d'un vert foncé très pléochroïque avec les teintes suivantes :

$\mathbf{n}_g$ = vert jaune.
$\mathbf{n}_m$ = jaune vif.
$\mathbf{n}_p$ = vert d'herbe.

L'indice n_g fait avec l'axe vertical un angle variable avec les échantillons, mais atteignent 50°.

L'œgyrine est surtout abondante dans la mésotype; ses cristaux sont nets, allongés suivant l'axe vertical. Ils présentent un pléochroïsme énergique dans les teintes vertes ou jaunes. Un même cristal est souvent inégalement coloré. Parfois la périphérie des cristaux est formée par des bandes à contours nets ayant une coloration différente de celle du cristal lui-même.

Je n'ai pu déterminer la véritable nature du minéral dodécaédrique (noséane ou sodalite) qui est constamment transformé en mésotype parfois fibreuse, mais le plus souvent floconneuse. Il renferme assez souvent de fines inclusions noires orientées suivant les axes ternaires du cube. Les cristaux de noséane de la phonolite sont souvent transformés de la même façon. On voit distinctement ce minéral en lumière naturelle (Pl. VI, fig. 4), grâce à ses inclusions, à sa forme [b^1(111)]. En lumière polarisée (Pl. VI, fig. 8), la mésotype secondaire fait disparaître la structure originelle. Dans plusieurs enclaves, j'ai observé des traces de néphéline également zéolitisée.

Le feldspath est une orthose sodique souvent très riche en inclusions gazeuses, comme tous les feldspaths chauffés, et parfois même en inclusions liquides à bulle mobile. Quelques échantillons sont remplis de produits d'altération colloïdes. Dans les enclaves riches en mésotype secondaire, ce même minéral se glisse dans toutés les fissures du feldspath et en isole des îlots intacts.

Sauf le cas où il renferme des produits colloïdes, le feldspath est très limpide en lames minces et ce caractère permet de suivre facilement en lumière naturelle la structure de la roche, la sodalite transformée en mésotype étant jaunâtre et trouble.

Assez fréquemment, la mésotype secondaire est mélangée de petites aiguilles assez réfringentes d'un minéral à allongement tantôt positif, tantôt négatif, à extinctions ordinairement longitudinales, minéral qui semble être de la wollastonite dont il possède la biréfringence.

Pour terminer cette énumération des minéraux constitutifs des enclaves, il faut citer la calcite toujours peu abondante formant de petits agrégats grenus.

Parmi les nombreuses enclaves que j'ai recueillies, il y a lieu de distinguer, comme on l'a vu plus haut, deux types principaux, l'un feldspathique, l'autre dépourvu de feldspath; dans les deux types, le minéral du groupe sodalite-noséane est complètement transformé en mésotype et n'est plus reconnaissable qu'à ses formes.

a) *Enclaves feldspathiques* (*syénites*). — Le type dominant parmi cette catégorie d'enclaves est représenté par la fig. 12 de la Pl. VI. Il est constitué par une roche à éléments feldspathiques, atteignant plusieurs millimètres; le feldspath est de l'orthose sodique aplatie suivant g^1 (010); les cristaux, en s'enchevêtrant, laissent entre eux des vides polyédriques remplis par la noséane. Ce minéral se trouve aussi, mais en moindres proportions, inclus dans les feldspaths. La roche renferme un peu de zircon, de sphène. La majeure partie du pyroxène se présente sous forme d'œgyrine en cristaux nets, contemporains de la mésotype secondaire qui les enveloppe dans les pseudomorphoses de sodalite. Ce type de roche est très analogue à celui des enclaves de Brocq. Il domine à Hohentwiel et à Gennersbohl.

Quelques échantillons de Gennersbohl sont plus grenus, le pyroxène est très vert; le feldspath constitue les 9/10 de la roche; la noséane est rare et souvent manque complètement. Les feldspaths renferment fréquemment à leur

centre des taches d'altération, rappelant celles des orthoses des roches anciennes; des produits colloïdes seuls se forment dans ces conditions. Quand la roche ne renferme pas de noséane, il n'existe pas de mésotype secondaire. Ces roches rappellent comme structure certaines syénites néphéliniques du Brésil (Pl. VII, fig. 5).

Une variété de ce genre d'enclaves offre la même structure, mais les feldspaths sont franchement grenus et de petite dimension (Pl. VII, fig. 9); çà et là, on observe de petits paquets de biotite et de pyroxène avec apatite et sphène qui est, du reste, rare comme dans les roches précédentes. Cette enclave est une syénite aplitique, analogue aux roches filoniennes que l'on observe dans les massifs de syénite néphélinique de beaucoup de régions. Il s'y développe parfois des cristaux porphyroïdes d'orthose, donnant à la roche la structure d'une *microsyénite* tout à fait homologue des microsanidinites étudiées plus haut.

b) *Enclaves non feldspathiques.* — Les enclaves de ce groupe sont moins abondantes que les précédentes et dépassent rarement la grosseur d'une forte noix.

L'une d'elles, provenant du flanc nord du Hohentwiel, est constituée par du pyroxène violacé, verdissant sur les bords et par de la noséane ou sodalite, épigénisée par de la mésotype. Elle est riche en apatite et en sphène. Le pyroxène est automorphe formant des cristaux atteignant 0 m 05, parfois creusés de cavités et dentelliformes (Pl. VI, fig. 7).

Une enclave noire d'Hohenkrähen renferme comme élément dominant de la biotite accompagnée d'un peu de pyroxène, d'apatite et enfin de la nosane ou sodalite toujours zéolitisée. La biotite est par places dentelliforme; elle est remplie de magnétite s'accumulant surtout à la périphérie des cristaux et tout à fait identique à celle que l'on

voit se produire dans les biotites chauffées. Le pyroxène est contemporain du mica, tantôt englobé par lui, tantôt le moulant. Il en est de même de la sodalite ou noséane qui se présente en rhombododécaèdres nets quand elle est incluse (Pl. III, fig. 3) dans la biotite.

Le contact de l'enclave et de la phonolite se fait par une zone composée de pyroxène ; il semble que ce soit les microlites de la phonolite qui sont venus se grouper autour de l'enclave et qui ont alors pris des dimensions plus grandes que dans la roche normale.

Ce second type d'enclaves doit être considéré comme l'équivalent des enclaves à haüyne (ittnérite) non feldspathiques d'Oberbergen décrites plus loin ; elles ont dans les gisements du Höhgau une importance beaucoup moindre que dans le Kaiserstuhl.

De même que ces dernières, elles passent aux enclaves feldspathiques par l'introduction dans leur composition minéralogique d'une quantité plus ou moins grande de feldpath. Ces roches de passage existent notamment à Hohentwiel.

Dans cette dernière localité, j'ai rencontré aussi de petites enclaves noires constituées par une quantité considérable de microlites d'œgyrine, disséminés au milieu de quelques plages d'orthose et de beaucoup de mésotype. Elles ressemblent beaucoup aux filonnets que l'on rencontre parfois dans les syénites néphéliniques et notamment dans celles de Montréal. Toutefois, il n'est pas impossible qu'elles ne soient ici que des concentrations des éléments ferrugineux microlitiques de la phonolite.

En résumé, les *phonolites* du Höhgau renferment de nombreuses enclaves grenues dans lesquelles on peut retrouver, avec quelques variations minéralogiques, les deux types existant dans les *phonolites* du Plateau Central

de la France et du Kaiserstuhl, des enclaves feldspathiques dominantes et d'autres non feldspathiques entre lesquelles existent de nombreux passages.

Le cachet spécial des enclaves grenues du Höhgau consiste dans l'intensité des modifications secondaires qui ont zéolitisé le minéral dodécaédrique.

Prusse rhénane. — *Région du lac de Laach.* M. Fouqué m'a remis une petite enclave micacée grenue qu'il a recueillie dans les *tufs leucitophyriques* de Rieden. Elle est constituée par les minéraux suivants : augite, biotite, hornblende, apatite, sphène et noséane. L'amphibole est peu abondante; elle joue le même rôle que la biotite qui moule et remplit toutes les cavités du pyroxène. La noséane est nettement postérieure aux éléments colorés. Une des particularités intéressantes de cette enclave réside dans les teintes de pléochroïsme des éléments ferrugineux. Le pyroxène originellement violet est plus ou moins coloré en vert, suivant n_g et n_p; la biotite est d'un brun presque noir suivant n_g et n_m; l'amphibole d'un jaune vert également très foncé suivant n_g et n_m; mais ces trois minéraux prennent une couleur jaune d'or identique lorsque les rayons qui traversent la plaque vibrent suivant n_m dans le pyroxène, suivant n_p dans l'amphibole et la biotite.

Cette enclave présente une certaine analogie avec le type non feldspathique des enclaves du Kaiserstuhl; elles ont, suivant toute vraisemblance, la même origine.

Tout récemment, M. K. Busz, dans un intéressant mémoire sur les *tufs de leucitophyres*, de la région du lac de Laach, a signalé[1] quelques enclaves analogues.

L'une, provenant de Weihley, est à grands éléments de

1. *Verhandl. naturh. Vereins Bonn.* XLVIII, 238 et 256, 1892.

sanidine et de noséane, avec du grenat mélanite, de la magnétite, de la biotite et du sphène.

Une autre, provenant du Nudenthal, près Obermendig, contient de la sanidine, de la noséane, de l'augite, de la biotite (avec inclusions de rutile), du sphène, de l'apatite et de la magnétite.

M. Busz considère ces roches comme résultant de cristallisations effectuées en profondeur dans le magma leucitophyrique.

Kaiserstuhl. — Les *leucitophyres* et les *phonolites* du Kaiserstuhl sont connus depuis longtemps pour les blocs à *ittnérite* qu'ils renferment et qui ont été décrits en 1822 par Gmélin.

Ces blocs constituent dans les roches volcaniques des enclaves analogues à celles que nous avons étudiées jusqu'à présent dans ce chapitre, mais elles sont d'une très grande richesse en haüyne et en grenat.

M. Rosenbusch, après avoir énuméré leurs éléments constitutifs (haüyne, mélanite, augite verte, souvent néphéline et feldspaths), à structure grenue, ne se prononce pas sur la question de savoir si elles constituent des roches anciennes arrachées à la profondeur ou des concrétions intratelluriques du magma phonolitique [1].

C'est à cette dernière hypothèse que s'est rallié M. Graeff [2] dans son guide des environs de Freiburg [3].

1. *Mikroskop. Physiographie der massiven Gesteine*, 1887, 623.
2. Steinmann, u. Graeff, *Geolog. Führer der Umgebung von Freiburg*, Freiburg, 1890 109.
3. M. Graeff a publié récemment (*Mittheil. Grosh. Bad. geol. Landesanst.*, II, XIV, 1882) un important mémoire sur le Kaiserstuhl dans lequel il s'occupe longuement des enclaves des roches volcaniques de cette région. Il me reproche (p. 161) de n'avoir pas tenu la promesse faite de ne pas publier le résultat de mes recherches sur les enclaves du Kaiserstuhl avant la publication d'un travail qu'il préparait sur ce sujet. Ce reproche est motivé par le passage suivant d'une note préli-

Ces enclaves ont été aussi étudiées par M. A. Knop[1].

En 1891, pour compléter l'examen que j'avais fait des échantillons de ces enclaves contenus dans les collections de Paris, j'ai entrepris un voyage dans le Kaiserstuhl. J'ai été fort aimablement conduit aux divers gisements de cette intéressante région par M. Graeff et son collègue, M. Böhm. Je tiens à les en remercier ici. Nous avons recueilli plusieurs échantillons sur place et j'en ai, en outre, acheté un assez grand nombre chez un habitant d'Oberbergen.

Les enclaves qui nous occupent se rencontrent particulièrement dans un grand filon de *leucitophyre* qui se trouve au Badberg sur le chemin de Steinriesen, près Oberbergen : il en existe aussi, mais en moins grand nombre, dans la *phonolite* d'Oberschaffhausen.

Ces enclaves peuvent, comme celles de tous les gisements précédents, se diviser en deux groupes, l'un feldspa-

minaire sur les enclaves du Höhgau insérée aux *C. Rendus*, 1823, 1891. « Il est intéressant de comparer ces enclaves grenues avec celles que l'on trouve dans les phonolites d'Oberbergen en Kaiserstuhl que j'ai eu récemment l'occasion de visiter. Dans ce gisement, ce sont les enclaves grenues, composées de grenat mélanite (schorlomite), pyroxène, biotite, ittnérite (du groupe haüyne-sodalite) apatite et plus rarement *pérowskite* qui dominent, tandis que les syénites feldspathiques si abondantes dans le Höhgau sont plus rares. Notons que, comme dans ce dernier gisement, on trouve des passages entre les syénites très feldspathiques et les enclaves non feldspathiques par l'introduction d'orthose dans celle-ci. » En écrivant ces lignes je n'ai pas cru devoir faire aucune citation d'auteur, les faits en question étant connus de tout le monde. Les roches que j'ai rapportées du Kaisertuhl étant étudiées et les figures de ce mémoire étant dessinées depuis le mois de juillet 1891, le lecteur jugera que si j'avais eu l'intention que me prête M. Graeff, je n'eus pas attendu deux années entières pour publier ce travail. La note des *C. R.* n'avait du reste pour but que de prendre date au sujet du Höhgau, et si j'avais pu croire que la susceptibilité de M. Graeff pût être blessée par le passage cité plus haut, je me serais empressé d'y citer son nom. Je crois avoir exposé aussi clairement que possible les travaux de ce savant et afin qu'il n'y ait pas de malentendu, j'ai indiqué en note les résultats du mémoire qu'il a publiés après la rédaction de mon travail.

1. *Ber. XXI. Vers. oberh. geol. Ver. Oberschaffhausen*, 1888, et *Der Kaisestuhl*. Leipzig, 1892, 246.

thique se rapprochant de la composition moyenne de la roche volcanique englobante, l'autre composé par des concentrations de quelques-uns seulement des éléments de cette dernière.

Comme il existe des passages entre ces deux catégories de roche et que leurs éléments ne présentent pas de différence minéralogique, je les passerai tout d'abord en revue au point de vue purement minéralogique.

Ces minéraux sont les suivants : apatite, ilménite, grenat mélanite, *pérowskite*, sphène, pyroxène (augite et œgyrine), biotite, haüyne (ilménite), néphéline, orthose et divers produits secondaires (zéolites, calcite, etc.).

L'apatite forme de longs cristaux de plusieurs millimètres, pouvant même atteindre plusieurs centimètres dans les blocs exceptionnels d'ilménite. Ses cristaux englobés dans les enclaves sont très allongés suivant la zone prismatique, n'ont souvent pas d'arête rectiligne, et, dans beaucoup de cas, ils semblent s'être moulés sur la plupart des éléments de l'enclave. Fréquemment, ils se groupent en grand nombre, serrés les uns contre les autres et cimentés par l'iménite, le mica, le pyroxène ou le grenat.

Le grenat est un mélanite titanifère[1], noir de poix en masse. Lorsqu'on traite par les acides certaines de ces enclaves, on constate, après la disparition de la calcite, que ce grenat tapisse des druses de rhombododécaèdres b^1 (110) entassés les uns sur les autres. En lames minces, ce grenat est brun rouge foncé, ou brun jaune de diverses nuances. Il est fréquemment zoné, constitué par un centre très foncé et des bords clairs ou par des alternances de zones alternativement claires ou foncées. Dans la roche,

1. Pour la composition chimique des divers minéraux du Kaiserstuhl, voir A. Knop, *Der Kaiserstuhl*, Leipzig, 1892.

le grenat est souvent nettement cristallisé, à contours nets bien qu'englobant de nombreux cristaux des autres éléments de la roche. Dans d'autres cas, il ne possède pas de formes propres, il se glisse dans l'intervalle de tous les autres éléments, même dans l'ittnérite. Il rappelle par cette structure et par sa couleur, le grenat des syénites néphéliniques de Montréal (Canada) et de celles de Magnet Cove (Arkansas). Ce grenat, de même que celui de Magnet-Cove, est parfois accompagné de pérowskite. La haute teneur en acide titanique de ces grenats est peut-être parfois liée à l'existence d'inclusions de pérowskite dans les échantillons analysés.

La pérowskite n'avait, jusqu'à présent, jamais été signalée dans ce gisement. Elle forme des cubes noirs de fer, atteignant 1^{mm} de côté, au milieu des géodes de grenat que met à nu l'attaque de certaines enclaves par les acides. Dans les roches qui la renferment, elle forme, en outre, des grains irréguliers, brun rouge foncé, se distinguant du grenat en lumière naturelle par leur réfringence beaucoup plus grande et leur aspect chagriné très net. En lumière polarisée parallèle, on observe les propriétés optiques bien connues dans ce minéral : elles se manifestent par une biréfringence faible et des bandes hémitropes croisées à angle droit dans les sections parallèles aux faces du cube.

La pérowskite est incluse dans tous les éléments de la roche ; elle est très souvent entourée d'une zone de sphène secondaire, identique à celle que l'on observe autour de l'ilménite et du rutile d'un grand nombre de roches. Ces couronnes de sphène sont surtout abondantes quand la pérowskite est englobée par l'haüyne.

Le sphène n'a été trouvé que rarement en cristaux indépendants.

Le pyroxène le plus abondant est l'augite, très variée de couleur; sa couleur la plus habituelle est, en lames minces, un brun jaune clair, avec parfois une teinte violacée, bien distincte toutefois de celle des augites titanifères de la limburgite de Limburg. Le pléochroïsme est toujours net et inégal dans les facules de nuances variables. Ce pyroxène est accompagné d'un autre de couleur vert clair avec polychroïsme assez fort suivant :

$\mathbf{n}_g$ = vert clair à vert brun clair.
$\mathbf{n}_m$ = vert jaune.
$\mathbf{n}_p$ = jaune plus ou moins clair.

Il est probable que la couleur verte n'est pas primordiale et que de même que dans le pyroxène des syénites néphéliniques du Canada, la variété verte dérive de la première par un léger changement dans le degré d'oxydation du fer. Comme la première, en effet, elle est souvent faculée et les petites variations dans les angles d'extinction du cristal central et des facules sont du même ordre dans les deux variétés. Dans un échantillon j'ai pu, du reste, observer les deux variétés réunies dans un cristal unique. La coloration en vert semble être, comme dans les pyroxènes des phonolites, la première étape de la transformation en œgyrine. L'augite est tantôt automorphe, tantôt dépourvue de formes propres et moule alors l'haüyne. Les angles d'extinction dans g^1 (010) atteignent 45°.

Souvent la couleur verte et la biréfringence augmentent sur les bords, le pléochroïsme s'accentue, puis l'angle que fait n_g avec l'axe vertical augmente brusquement jusqu'à 85°. L'augite est alors transformée en œgyrine à extinction voisine de l'axe vertical. Ce minéral se produit aussi en abondance en petits cristaux aciculaires indépendants, particulièrement abondants au milieu de la méso-

type secondaire. L'augite renferme souvent des inclusions vitreuses.

La biotite ne forme pas de grands cristaux dans la majeure partie de ces enclaves; elle se développe en petites lamelles qui tapissent les cavités du pyroxène ou les vides laissés entre eux par ces minéraux; elle forme sur eux des placages peu épais et leur est très nettement postérieure.

L'ittnérite et le scolopside ont été pendant longtemps considérés comme des minéraux spéciaux; ils se présentent en grandes masses violacées (ittnérite) ou verdâtres (scolopside) à éclat gras et clivages dodécaédriques. Quelques échantillons présentent des géodes remplies par de la calcite secondaire. En dissolvant cette calcite par un acide faible, on met facilement à nu des rhombododécaèdres b^1 (110) qu'il est impossible d'avoir intacts, l'acide acétique, même très étendu, les rongeant superficiellement et les couvrant d'une couche blanche rugueuse. Les cristaux les plus nets que j'ai obtenus ainsi sont accompagnés de pérowskite. Le musée de l'Université de Freiburg possède un énorme cristal de ce minéral. M. van Werweke a montré [1] l'identité de ces minéraux avec l'haüyne.

L'examen microscopique des enclaves fait voir que l'ittnérite est formée par des cristaux globuleux pressés les uns contre les autres et ayant, parfois, des formes nettes. Ils sont, en général, ponctués d'un nombre considérable de petits grains de calcite secondaire qui s'alignent dans les clivages b^1 (110) du minéral. Tantôt, il n'existe pas d'autres inclusions, tantôt, au contraire, on observe des inclusions ferrugineuses constituées par des grains ou de petits bâtonnets ferrugineux rappelant ceux de la

1. *N. Jarhb.* 1880, II, 264.

noséane des syénites néphéliniques de Montréal ou de la noséane du lac de Laach. Ils sont, en général, groupés au centre du cristal avec, parfois, une indication d'orientation cristallographique. Quand ces inclusions deviennent très petites, elles s'orientent alors nettement suivant les axes ternaires formant des sortes de grillages analogues à ceux de l'haüyne et de la noséane des phonolites.

Quelques échantillons m'ont offert de beaux exemples de ces grilles à éléments extrêmement fins et donnant au minéral une apparence bleuâtre. Enfin, au milieu de ces inclusions en grilles, on trouve parfois un grain beaucoup plus gros que les autres, entouré d'une zone dépourvue d'inclusions. Il est manifeste qu'au moment de la cristallisation de l'ittnérite, alors que les particules ferrugineuses se déposaient suivant des directions déterminées, une attraction s'est produite autour de certains points y concentrant, pour former un cristallite unique, toutes les particules qui étaient situées dans un certain rayon. Cette disposition implique nécessairement la contemporanéité de formation des inclusions et du minéral qui les renferme. Si j'insiste sur cette disposition des inclusions de l'ittnérite et sur les conclusions à en tirer, c'est qu'elle est identique à celle des feldspaths des gabbros du sud de la Norwège dans lesquels on trouve en abondance des inclusions noires, des inclusions globulaires de pyroxène et de spinelle offrant les diverses particularités qui viennent d'être étudiées en dernier lieu.

D'après M. van Werweke, ces inclusions seraient constituées par de la pyrrhotine : je me rangerai plus volontiers à l'opinion de M. Rosenbusch qui les considère comme formées par la magnétite titanifère.

L'ittnérite est presque toujours ponctuée de calcite : elle se transforme assez souvent en mésotype, analogue comme

disposition à celle qui a été décrite plus haut dans les enclaves du Höhgau. Cette mésotype englobe fréquemment de petits cristaux allongés d'œgyrine qui sont de formation contemporaine. M. van Werweke a signalé de la gismondine comme produit d'altération du même minéral.

La néphéline est relativement peu abondante et ne présente pas de particularités dignes d'être notées.

L'orthose est sodique, elle forme des cristaux aplatis suivant g^1 (010). Les inclusions gazeuses sont parfois extrêmement abondantes. Ce feldspath est maclé suivant la loi de Carlsbad ; il ne présente pas trace de macles tricliniques ni d'associations microperthitiques d'anorthose ou de tout autre feldspath triclinique; il peut donc être attribué sans aucun doute à l'orthose. Quelques échantillons sont troubles au centre, comme les feldspaths des roches anciennes, mais il ne s'y forme pas de produits secondaires cristallisés autres que la mésotype qui se développe dans ses fentes quand la roche est riche en haüyne zéolitisée.

Enfin pour terminer cette énumération de minéraux, il faut citer la calcite se développant un peu partout et devenant macroscopique quand elle remplit les géodes signalées plus haut.

Au point de vue de l'ordre de succession de ces divers minéraux, il suffira de faire remarquer que la pérowskite, l'ilménite et l'apatite sont, en général, les premiers minéraux consolidés. Le pyroxène renferme parfois des inclusions de grenat, mais est, plus généralement, moulé par lui : ces deux minéraux sont, dans beaucoup de cas, postérieurs à l'haüyne (ittnérite).

Le feldspath, quand il existe, est tantôt le dernier élément formé dans la roche, les produits secondaires (mésotype, œgyrine, calcite étant, bien entendu, mis à part),

tantôt il est moulé par l'haüyne et la néphéline : les mêmes minéraux existant aussi en cristaux automorphes englobés par l'orthose.

Nous avons dit plus haut que l'on pouvait reconnaître deux types parmi ces enclaves grenues.

a) *Syénites à haüyne* (*ittnérite*) *et néphéline.* — Les enclaves de ce groupe sont de beaucoup les moins abondantes : elles ont un caractère commun ; les feldspaths y dominent, les éléments colorés y sont peu abondants et formés presque exclusivement par de l'augite ; l'apatite est rare, il existe parfois un peu de sphène, de grenat, etc. Les dimensions des éléments constitutifs sont très variables.

Dans les variétés à gros grains, tous les éléments (pyroxène, grenat, haüyne) sont englobés par de grandes plages d'orthose (Pl. VII, fig. 6). Un de mes échantillons est traversé par une petite veine composée de microlites d'œgyrine très abondants et d'orthose, rappelant les filonnets qui parcourent la syénite néphélinique de Montréal.

Dans les variétés à grains fins, les cristaux de feldspath, aplatis suivant g^1 (010), comme dans le cas précédent, sont enchevêtrés ou empilés, renfermant quelques cristaux d'haüyne ; ils sont d'ordinaire moulés par ce dernier minéral (Pl. VII, fig. 10) ou par de la néphéline.

Dans les roches qui viennent d'être décrites, les éléments colorés sont peu abondants et le feldspath domine beaucoup. L'enrichissement en haüyne, en pyroxène et en grenat, la diminution concomitante de l'orthose conduisent d'une façon insensible au second groupe d'enclaves dans le quelle seul élément blanc est l'haüyne.

Dans un échantillon provenant des *phonolites* d'Oberschaffhausen, la composition minéralogique est analogue à celle qui vient d'être décrite, mais la roche possède une texture porphyroïde par suite de l'existence de très grands

cristaux d'orthose, englobant des cristaux de pyroxène et d'haüyne, et moulés eux-mêmes par un mélange à gros grains de néphéline et d'orthose, associés à de l'œgyrine en cristaux nets. La wollastonite, très abondante dans la phonolite, n'existe pas dans l'enclave. Les feldspaths sont très troubles. Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer l'analogie de structure présentée par cette pâte grenue d'orthose et de néphéline avec les lits feldspathiques riches en œgyrine qui s'observent au milieu des enclaves gneissiques du même gisement (page 234). Il y a là quelque chose d'analogue à ce que j'ai signalé à Menet, où les produits de transformation de roches anciennes conduisent à des roches très analogues aux sanidinites de profondeur.

Dans les *phonolites* qui affleurent sur le sentier conduisant d'Oberbergen à Schelingen, on trouve des enclaves feldspathiques très riches en apatite dans lesquelles l'augite est accompagnée ou remplacée par de la biotite. On y observe des moules globuleux remplis par de la mésotype, moules qui semblent avoir été constitués par de l'haüyne. La mésotype est accompagnée d'œgyrine secondaire. La biotite est très chargée de produits ferrugineux globulaires analogues à ceux des micas chauffés.

MM. A. Knopp[1] et Graeff ont signalé[2] l'abondance dans les filons de *phonolite* de Mondhalde, Fasback et dans le leucitophyre d'Ersberg, près Nieder Rothweil, d'enclaves grenues, formées d'augite, de sphène, de néphéline et de sanidine. M. Graeff les compare aux nodules à olivine des basaltes. Un des échantillons décrits par M. Knopp et provenant de Mondhalde est formé en grande partie d'augite avec de la néphéline, de l'orthose et beaucoup de sphène. L'augite est en partie transformée en biotite.

1. *Op. cit.*
2. *Géol., Führer, op. cit.*, 109.

b) *Enclaves non feldspathiques.* Les roches de ce second groupe sont celles qui constituent la plus grande partie des enclaves de ce gisement. Ce sont elles que l'on trouve dans toutes les collections, et particulièrement leurs variétés très riches en haüyne (ittnérite) violette (*ittnéritfels*) ou celles qui contiennent en abondance du grenat titanifère. Tandis que l'haüyne des enclaves du premier groupe était pauvre en inclusions noires, toujours de taille relativement grande, c'est dans le second groupe que l'on rencontre toutes les variétés d'inclusions ferrugineuses que j'ai énumérées plus haut. La richesse de ces enclaves en grenat et en pyroxène leur donne leur couleur très foncée. L'apatite y devient en outre très abondante. La fig. 1 de la Pl. VII présente la structure la plus habituelle de ce genre d'enclaves.

Dans les échantillons de passage au groupe précédent, le feldspath, peu abondant, forme parfois des rosettes de lames aplaties suivant g^1 (010), véritables microlites groupés autour des minéraux les plus anciennement consolidés de la roche. La roche pourrait alors être comparée à une phonolite dont les grands cristaux intratelluriques seraient tellement abondants qu'ils seraient pressés les uns contre les autres, le magma microlitique extrêmement réduit ne remplissant plus que les intervalles laissés entre eux. Dans quelques échantillons, on voit apparaître çà et là une grande plage pœcilitique d'orthose.

Dans plusieurs de mes échantillons, la *pérowskite* accompagne le grenat. L'un d'eux était creusé d'une géode remplie par de la calcite à grandes lames qui, par traitement par les acides, m'a donné quelques beaux cristaux cubiques noirs de pérowskite, associés à des dodécaèdres de grenat et d'haüyne (ittnérite). La pérowskite n'ayant été citée par aucun des auteurs qui ont étudié le Kaiserstuhl, constitue, sans doute, dans ce gisement, une rareté.

A côté de ces enclaves dans lesquelles l'haüyne domine, il s'en trouve d'autres dans lesquelles le mélanite ou l'ilménite constituent l'élément le plus abondant : l'apatite y est très développée en longs prismes hexagonaux.

Enfin, je signalerai en terminant un échantillon riche en pyroxène, biotite, ilménite, sphène, pérowskite et apatites, accompagnés de grandes plages de néphéline et de peu d'haüyne. Il rappelle beaucoup les enclaves des néphélinites de l'Oberwiesenthal qui seront étudiées plus loin.

Dans les *phonolites* d'Oberschaffhausen se rencontrent des enclaves analogues à celles de Steinriesen : elles y sont moins abondantes.

Il est intéressant de rapprocher la composition minéralogique des enclaves feldspathiques du Kaiserstuhl de celle des syénites néphéliniques de Montréal qui sont parfois pauvres en néphéline et très riches en un minéral dodécaédrique que j'ai rapporté à de la sodalite à cause de l'existence de ce minéral en cristaux bleus macroscopiques dans un grand nombre de mes échantillons. Une observation plus récente de M. Harrington a montré qu'il existait dans ce même gisement un minéral analogue à l'*ittnérite*[1].

Il me semble possible d'appliquer à toutes ces enclaves du Kaiserstuhl les mêmes conclusions qu'à celles des gisements précédents : ce sont, évidemment, des roches solidifiées en profondeur : les syénites représentent le magma entièrement consolidé sous la forme grenue, alors que les enclaves non feldspathiques constituent des ségrégations effectuées dans ce magma.

1. *Canad. Record. of Science*, IV avril, 1890, 98. M. Osann a plus récemment encore (*N. Jahrb*, 1892, I, 222), étudié la même roche au point de vue du minéral cubique ; il est arrivé à cette conclusion qu'il est constitué par de la haüyne. J'ai revu depuis mes échantillons, et j'ai pu constater que s'il existe de la haüyne dans quelques-unes de ces syénites néphéliniques, le minéral bleu des parties pegmatoïdes est bien de la sodalite comme je l'avais antérieurement reconnu.

Il est même probable que ces dernières roches n'ont pas toutes constitué des masses *en place* dans la profondeur, car plusieurs des échantillons que j'ai examinés et particulièrement un de ceux qui renferme de la pérowskite, présentent une particularité curieuse. Ils sont arrondis, leur contact avec le *leucitophyre* est formé par une couche continue de grenat, en cristaux parfaitement nets, engagés, d'un côté dans l'enclave et de l'autre dans la roche volcanique. Il faut, nécessairement, en conclure, ou bien que l'enclave une fois arrachée par l'éruption a continué à s'accroître, ou, plus vraisemblablement, qu'elle s'est formée directement dans la roche encore fluide avant son épanchement, y constituant de véritables glaçons [1].

1. Dans son récent mémoire, M. Graeff a étudié les enclaves qui m'ont occupé ici. Les minéraux qu'il y signale sont ceux que j'ai indiqués plus haut, avec la *pérowskite* en moins, la *pyrrhotine* en plus.

Il signale l'analogie de structure présentée par les enclaves feldspathiques avec les syénites néphéliniques trachytoïdes de Foya et du Brésil : l'intervalle laissé entre les grands cristaux d'orthose étant rempli par un mélange grenu d'orthose et de néphéline ; des enclaves de syénites néphéliniques grenues sont indiquées à Oberschaffhausen. L'auteur signale de grandes variations dans les proportions relatives du feldspath, de la néphéline et de la haüyne conduisant à des types pétrographiques variés dont les deux extrêmes sont la syénite néphélinique et les roches non feldspathiques (ittneritfels). Dans ces dernières, il distingue 4 types principaux : 1° haüyne (ittnérite) dominante et ilménite ; 2° haüyne dominante, mélanite et pyrrhotine ; 3° mélanite dominante, haüyne et ilménite ; 4° ilménite dominante, apatite, mélanite et néphéline.

Rappelant que, dans son *Geol. Führer*, il a considéré toutes ces enclaves comme des blocs arrachés à une roche solide en profondeur et en relation avec le magma phonolitique, M. Graeff résume ainsi qu'il suit sa théorie : 1° le magma volcanique s'est épanché à la surface et s'y est consolidé sous forme de phonolite ; 2° par suite d'une interruption de l'éruption, le magma s'est consolidé dans la cheminée volcanique sous la forme grenue. donnant ainsi naissance à une roche solide ; 3° une nouvelle éruption a amené au jour la phonolite qui a entraîné des fragments de la roche grenue, antérieurement consolidée. Le fait qui semble avoir conduit M. Graeff à admettre ce mode de formatiou de ces roches grenues est l'absence admise par lui de la haüyne dans les syénites néphéliniques anciennes. De même, dit-il, que l'existence de pseudocristaux de leucite dans les syénites néphéliniques ou

Canaries. — MM. V. Fritsch et Reiss ont signalé dans les tufs de Ténérife (Delgollada del Cedro, plateaux de Maja et de los Infantes, environs de Siete fuentes, d'Arenas negras, de Guajara, de Chasna, volcan de Teyde, etc.), des blocs de roches grenues, atteignant parfois 1 mètre de diamètre et n'ayant souvent que la grosseur d'une noix. Elles accompagnent des blocs de *phonolites* et de *trachytes* et sont désignés par ces savants sous le nom de *sanidinites*.

Ce sont des roches généralement miarolitiques, en grande partie formées de sanidine. Dans les interstices miarolitiques se trouvent des cristaux allongés ou trapus

tout au moins dans les tinguaïtes du Brésil montre que les conditions de cristallisation de ce minéral se sont trouvées transitoirement réalisées au moment de la consolidation de ces roches, de même on peut admettre que la haüyne n'a pu se former que dans des conditions intermédiaires entre celles qui ont donné naissance aux syénites néphéliniques et celles qui ont présidé à la formation des phonolites. Comme on l'a vu plus haut, je partage l'opinion de M. Graeff au sujet des relations qui lient les leucitophyres et leurs enclaves grenues. Je crois toutefois qu'il faut distinguer nettement les syénites néphéliniques qui correspondent à la forme grenue de la roche englobante des roches à haüyne sans feldspath qui représentent des ségrégations du même magma. Il me semble toutefois difficile de préciser davantage le mécanisme de leur formation, car si les syénites néphéliniques présentent parfois les inclusions gazeuses et les caractères des roches solides arrachées, d'autre part, plusieurs enclaves arrondies de roches à ittnérite me paraissent, comme je l'ai établi plus haut, avoir cristallisé dans le magma phonolitique sous leur forme extérieure actuelle et n'avoir pas ainsi constitué des roches en place. Le genre de structure signalé par M. Graeff dans les enclaves de syénites néphéliniques et que je n'ai retrouvé que dans un seul de mes échantillons, peu nombreux il est vrai, pourrait être invoqué comme argument en faveur de sa thèse, beaucoup plutôt que la considération de l'existence de la hayüne. Ce minéral, en effet, comme on l'a vu plus haut, existe dans des syénites néphéliniques anciennes (Canada) : de plus, les syénites néphéliniques sont souvent riches en sodalite, minéral qui s'est formé dans les mêmes conditions que la haüyne : c'est donc dans une différence chimique du magma et non dans une différence des conditions qui ont présidé à sa cristallisation intratellurique qu'il faut chercher les causes de la prédominance du premier de ces minéraux sur le second dans la syénite néphélinique. On verra plus loin que la haüyne existe en abondance parmi les enclaves grenues des roches leucitiques basiques.

de hornblende ainsi que de la néphéline, de la sodalite et du sphène. Dans les bombes de Chasna, les interstices de la roche sont entièrement remplis par de la néphéline grisâtre : il existe un peu d'oligoclase. Ces roches paraissent très analogues à quelques-unes de celles qui ont été décrites plus haut et leurs relations avec les phonolites sont peu douteuses.

Iles du Cap-Vert. — M. Dœlter a trouvé [1] dans les *tufs ponceux phonolitiques* de l'île San Antão des enclaves feldspathiques renfermant de la hornblende, de l'augite, de l'apatite, quelquefois de l'orthose, de la sodalite avec ou sans feldspath triclinique. Ces roches sont riches en inclusions vitreuses, gazeuses et liquides. M. Dœlter les considére comme le résultat de cristallisations effectuées en profondeur dans le magma phonolitique.

Ile Fernando Noronha. — Une enclave de syénite néphélinique a été signalée par M. Orville Derby [2] dans les phonolites de l'île Fernando Noronha. M. G. Williams, qui a étudié récemment [3] l'échantillon recueilli par M. Branner, le décrit comme formé par une roche très porphyroïde, renfermant de grands cristaux opalescents d'orthose. Ce savant ne se prononce pas entre l'hypothèse d'une enclave enallogène de syénite néphélinique et celle proposée par M. Derby d'une cristallisation intratellurique du magma phonolitique. La seconde opinion me paraît vraisemblable eu égard aux faits qui ont été étudiés dans ce chapitre.

Brésil. — M. Orville Derby a signalé [4] au pic de Tingua, près de Rio de Janeiro, un filon de *phonolite* (*tin-*

1. *Die Vulcane der Capverden*, Graz, 1882, 152.
2. *Quaterly J. of. geol. Society*, 1887, 459.
3. *American J. of. sc.*, 3ᵉ série, XXXVII, 185, 1889.
4. *Quaterly J. of geol. Society*, 1887, 459.

guaïte) traversant la syénite néphélinique et renfermant des fragments de roches ou ségrégations, identiques à la syénite traversée; ils ont souvent une tendance à prendre une forme géométrique.

M. Graeff a étudié[1] en grand détail des échantillons du même gisement, il a montré leur analogie de composition minéralogique avec la syénite néphélinique, et, tout en insistant sur leurs formes polyédriques, les a considérés comme des enclaves.

M. Hussak[2] a pu isoler de ces mêmes roches de véritables cristaux nets a^2 (211), et a fait voir qu'il fallait les considérer non comme des enclaves, mais comme des pseudocristaux de leucite, analogues par suite à ceux des syénites néphéliniques de Magnet Cove, récemment étudiées par Francis Williams[3]. Ce n'est donc que comme document que je cite ici ces intéressants produits sur lesquels je reviendrai dans le paragraphe suivant.

V. Tufs trachytiques et leucitiques de l'Italie méridionale et centrale.

Résumé et conclusions. — Dans le chapitre consacré aux enclaves calcaires des *tufs leucitiques* et *trachytiques* de l'Italie méridionale et centrale, et tout particulièrement dans le paragraphe réservé à la Somma, j'ai montré la complexité du problème qui consiste à débrouiller les causes des modifications subies par les enclaves énallogènes de ces gisements, par suite de la coexistence dans les mêmes tufs de blocs de roches volcaniques de composition différente.

1. *Neues Jahrb.*, 1887, II, 258.
2. *Id.*, 1890, I, 166 et 1892, II, 158.
3. *Annual Report of the geol. Survey of Arkansas for* 1890, II, 208, 1891.

Des difficultés du même ordre se représentent ici quand il s'agit d'interpréter les agrégats cristallins que je considère comme des enclaves homœogènes. Je diviserai celles-ci en deux groupes, dont l'un est formé par des sanidinites, en relation avec des *trachytes à sodalite* ou des *roches leucitiques acides*, l'autre par des roches plus basiques, constituant des cristallisations étroitement liées aux *leucotéphrites* basiques. Le plan que j'ai adopté pour mon mémoire me force à supposer résolu le problème de l'origine de ces diverses roches et à les décrire dans deux chapitres distincts, malgré les nombreux passages existant entre ces deux catégories de produits.

Les roches en relation avec les leucotéphrites basiques seront donc étudiées dans le chapitre II, page 519), et je ne m'occuperai pour l'instant que des *sanidinites* des *trachytes* et des *roches leucitiques acides*. Dans ces conditions, j'aurais pu, à la rigueur, décrire ces enclaves dans l'un des paragraphes précédents, mais, en raison de l'incertitude dont j'ai parlé plus haut, il m'a paru plus sage de séparer nettement les sanidinites qui peuvent prêter à discussion, de celles dont nous connaissons avec sûreté les relations d'origine avec des roches volcaniques en place.

Les *sanidinites à haüyne* que l'on rencontre dans les tufs du lac de Bracciano, du lac de Vico, etc., offrent, avec des variations locales, la plus grande analogie de composition minéralogique avec les sanidinites des trachytes à haüyne; dans les sanidinites de la Somma, la sodalite remplace la haüyne.

Nous retrouvons dans ces gisements les divers types de structure qui ont été passés en revue dans les gisements précédents, depuis la structure miarolitique jusqu'à celle des microsanidinites, conduisant par diverses étapes à la structure microlitique la plus franche.

Au lac de Vico, il existe d'assez grandes variations dans la composition de ces sanidinites, qui sont souvent riches en feldspath triclinique et en minéraux ferrugineux.

Tout ce que nous avons vu dans le paragraphe précédent permet de considérer les sanidinites de la Somma, des lacs de Vico et de Bracciano comme étant en relations étroites avec les trachytes sodiques (*trachytes à sodalite* ou *trachytes phonolitiques*) qui se rencontrent en enclaves avec elles dans les mêmes tufs.

De même, par analogie avec ce qui s'observe dans le Kaiserstuhl, est-on en droit de regarder les enclaves de *syénites néphéliniques* que j'ai décrites à Roccamonfina, comme probablement liées aux *leucitophyres* de la même région.

Quelques-unes des sanidinites de la Somma présentent un grand intérêt, par suite de l'existence de la leucite au milieu d'elles.

J'ai découvert des *trachytes à sodalite* renfermant de la *leucite*, des *microsanidinites à leucite*, et enfin de véritables *sanidinites grenues ou miarolitiques à leucite* (fig. 29). Il existe entre toutes ces roches des passages insensibles, et il est bien certain que l'on ne se trouve pas ici en présence de sanidinites de remplissage de druses calcaires du genre de celles qui ont été décrites pages 299 et 306.

Ces faits me paraissent avoir un certain intérêt, en raison de l'absence de la leucite dans les enclaves grenues des leucitophyres du Kaiserstuhl, ainsi que dans les roches grenues anciennes.

J'ai pu observer dans une de ces sanidinites des pseudomorphoses complètes de leucite en un mélange de sodalite et d'orthose, offrant une structure identique à celle de quelques sanidinites du même gisement. A la fin du para-

graphe precédent, j'ai rappelé l'existence de pseudomorphoses du même genre dans les syénites néphéliniques du Brésil et de l'Arkansas.

L'absence de la leucite dans les roches grenues, dont la composition chimique pourrait permettre la production de ce minéral semblait prouver que la leucite ne se forme pas dans les conditions qui ont présidé à la genèse des roches grenues, ou tout au moins, que si à un moment donné, ces conditions se sont trouvées réalisées (Brésil, Arkansas), elles n'ont pas persisté assez longtemps pour permettre à la leucite de subsister. Les *sanidinites à leucite* que j'ai décrites plus loin montrent que cette cristallisation en profondeur de la leucite, pour être peu habituelle, n'est pas impossible, et qu'elle s'est effectuée aussi bien dans des roches grenues ou miarolitiques que dans des microsanidinites; celles-ci rappellent beaucoup comme structure quelques-unes des roches anciennes à leucite du Brésil ou de l'Arkansas.

Dans le paragraphe consacré aux leucotéphrites basiques, je montrerai que dans un magma leucitique cristallisant en profondeur, en présence de minéralisateurs sous pression, les éléments chimiques de la leucite ont une tendance à se grouper de façon à donner de l'orthose et de la sodalite ou de la néphéline, plutôt que de la leucite, tandis que l'inverse a lieu dans un magma fondu à la pression ordinaire.

Comment faut-il interpréter ces pseudo-cristaux de leucite de la sanidinite de la Somma et du lac de Vico? Récemment, M. Hussak[1], revenant sur les pseudo-cristaux de leucite du Brésil, a exposé la théorie suivante : Pour lui, la roche ayant commencé à se solidifier en profondeur, la

1. *N. Jahrb.*, 1892, II, 158.

leucite a pu alors cristalliser librement. Au moment de l'éruption, le magma a été plus ou moins fondu et a attaqué la leucite, qui a été ainsi, complètement ou partiellement, épigénisée.

La structure de la plupart de mes microsanidinites à leucite semble indiquer la cristallisation d'un magma en voie d'ascension; les passages insensibles de ces microsanidinites à de véritables trachytes microlitiques paraissent aussi prouver que le magma a dû venir bien près de la surface.

Il me semble difficile d'attribuer ces pseudomorphoses à l'action du magma fondu. Les renseignements que l'étude des enclaves énallogènes nous a fournis sur les phénomènes qui ont accompagné la genèse des roches à orthose, tenderait à prouver, au contraire, que ces transformations se sont effectuées par voie de fumerolles. Ces pseudomorphoses de leucite de la Somma sont comparables aux produits de transformation des feldspaths des trachytes englobés par les trachytes du Mont-Dore, et dans lesquels, sans que la roche paraisse altérée, tous les grands cristaux de sanidine sont remplacés par un agrégat miarolitique de sanidine, avec parfois du pyroxène, etc. (Page 248.)

J'ai, du reste, un fait précis à apporter en faveur de mon hypothèse. J'ai recueilli dans la lave du Vésuve de 1872, un bloc de leucotéphrite d'une éruption antérieure, et dont tous les grands cristaux de leucite sont transformés ou en voie de transformation en orthose. Dans ce cas de pseudomorphoses, le rôle joué par les fumerolles est prépondérant.

On peut donc supposer que les roches acides à leucite qui nous occupent ont cristallisé en profondeur et dans des conditions favorables sous forme de *sanidinites*, *microsanidinites*, ou *trachytes à leucite*, et que ne s'étant

pas épanchées, elles ont été longtemps soumises à des émanations volatiles qui les ont accompagnées ou les ont postérieurement traversées; ce sont elles qui ont transformé la leucite dont la composition chimique explique aisément la nature des minéraux néogènes formés à ses dépens.

Somma. — J'ai exposé page 306 les raisons pour lesquelles je croyais devoir établir deux catégories dans les sanidinites de la Somma. L'une, dont j'ai seulement à m'occuper ici, est constituée par des roches dont le mode de formation est comparable à celui des sanidinites des autres gisements étudiés dans ce chapitre (sanidinites normales), tandis que l'autre s'est produite dans des conditions spéciales, au sein des druses de calcaires métamorphisés.

Je distinguerai dans ces sanidinites normales deux catégories, suivant qu'il existe ou non de la leucite.

a) *Sanidinites sans leucite.* — Les sanidinites sans leucite correspondent au type commun miarolitique; elles sont souvent assez friables. Leurs feldspaths (orthose et quelquefois anorthose) sont très aplatis suivant g^1 (010) et limitent des cavités plus ou moins remplies par de la sodalite, et plus rarement de la néphéline. Il existe toujours une petite quantité de hornblende brun verdâtre, soit en grands cristaux, soit en longues aiguilles cristallitiques. Du sphène, quelquefois un peu d'augite, de biotite complètent la composition de ces roches, en somme fort simples.

L'apparition du grenat mélanite semble établir le passage de ces sanidinites à celles auxquelles j'ai fait allusion plus haut, et dans les druses desquelles abondent les minéraux exceptionnels, sur lesquels je crois inutile de revenir maintenant. (Voy. p. 306.)

Les sanidinites normales forment non seulement de gros blocs épars dans les tufs de la Somma, mais encore

des nodules de toutes grosseurs, englobés non seulement par les *trachytes*, mais encore par les *leucotéphrites acides*, scoriacées ou compactes. Il est à remarquer que les sanidinites que l'on rencontre en enclaves dans ces roches sont généralement dépourvues de grenat.

Dans d'assez nombreux échantillons, les cristaux de feldspath, au lieu d'être enchevêtrés les uns dans les autres, sont clairsemés dans la roche et entourés de cristaux d'orthose de même forme, mais plus petits, accompagnés de hornblende et de sodalite. On est ainsi conduit à des sanidinites ayant la structure des syénites néphéliniques trachytoïdes. Ces roches présentent donc une tendance à la production de deux temps de consolidation, plus ou moins distincts suivant les échantillons. Tantôt la sodalite est très abondante, formant de larges plages, qui englobent un grand nombre de lamelles feldspathiques, tantôt, au contraire, elle est très réduite, les cristaux de feldspath sont alors pressés les uns contre les autres, et la roche rappelle comme structure certaines microsanidinites du M^te Olibano, qui conduisent à de véritables trachytes microlitiques.

Dans quelques échantillons très feldspathiques, les relations mutuelles des cristaux de feldspath, présentant des dimensions différentes, sont renversées ; ce sont alors les cristaux les plus petits qui sont englobés en grand nombre dans d'énormes plages d'orthose renfermant, en outre, de longues aiguilles de hornblende, et parfois du grenat.

Les relations de toutes ces sanidinites avec les trachytes à sodalite dont il a été donné une brève description, page 273, ne peuvent laisser aucun doute. Les dernières variétés de sanidinites dont il vient d'être question établissent le passage entre les types holocristallins miarolitiques et la forme microlitique du même magma.

Il me reste à citer deux échantillons exceptionnels. L'un est une microsanidinite : elle possède un aspect très caractéristique, grâce à l'existence de grands cristaux d'orthose, maclés suivant la loi de Carlsbad, aplatis suivant g^1 (010), et rappelant comme dimensions les cristaux de sanidine des trachytes de la Grande-Cascade au Mont-Dore. Ils sont disséminés dans un magma grenu de biotite et de feldspath. Au microscope, on constate que ce magma est holocristallin, constitué par de l'augite, de la biotite et du feldspath triclinique moulé par de l'orthose microgranitique.

L'autre échantillon est à grands éléments, formés en grande partie d'énormes cristaux d'orthose maclés, pressés les uns contre les autres et donnant à la roche l'apparence d'un granite gneissique[1]. En lames minces, on constate que ces grands feldspaths englobent de l'apatite, de la biotite, de l'augite, de la hornblende et du feldspath triclinique. Les inclusions gazeuses sont très abondantes dans tous les feldspaths.

b) *Sanidinites à leucite.* — Les sanidinites à leucite ne sont pas extrêmement rares. Je les ai trouvées soit en blocs épars, soit en enclaves dans les bombes de leucotéphrites à sanidine, décrites page 275. Elles sont à grands éléments, elles renferment des cristaux automorphes de hornblende verte et d'augite en voie de transformation en lamelles de biotite. Le même minéral se présente aussi en grandes plages, ophitiques par rapport à l'orthose. Ce feldspath est contemporain de la leucite, qui forme de grandes plages sans contours géométriques. Ces roches sont sou-

1. Cette analogie est, du reste, toute extérieure. Je rappellerai que des blocs de granite ont été trouvés à la Somma par J. Roth; j'en ai recueilli dans les tufs du lac de Vico et de Bracciano. Ils ne présentaient aucune modification métamorphique, c'est pourquoi je les ai passés sous silence dans mon étude des roches énallogènes.

vent calcifiées et altérées; elles ont alors le cachet de roches anciennes.

Dans quelques autres échantillons, au contraire, les éléments sont parfaitement frais; l'orthose se présente sous forme de cristaux aplatis, souvent curieusement creusés de cavités et englobés en grand nombre par des plages plus grandes du même minéral. On se trouve là en pré-

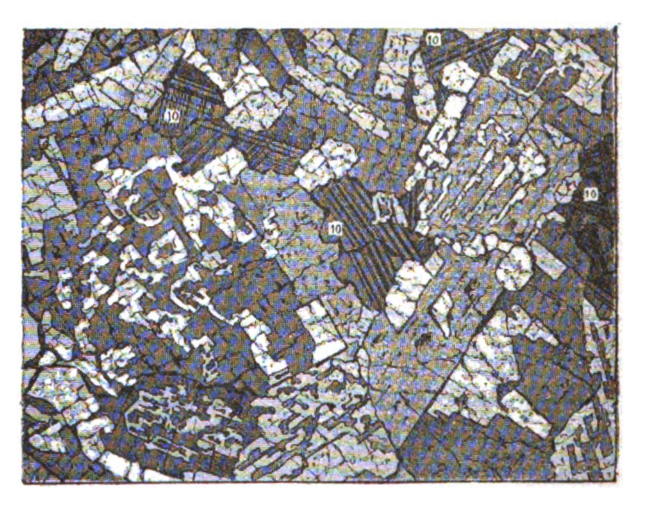


Fig. 29. — Sanidinite à leucite, montrant une pegmatite graphique d'orthose dans orthose, accompagnée de leucite (10).

sence d'une sorte de *pegmatite graphique d'orthose dans orthose* (fig. 29). La leucite paraît en partie postérieure aux feldspaths. Ces sanidinites renferment de l'amphibole, du pyroxène, du mica, parfois du grenat.

Je les ai surtout rencontrées en enclaves dans des roches à leucite renfermant de grands cristaux de sanidine.

Enfin, j'ai trouvé de la leucite dans des sanidinites miarolitiques à sodalite; elles y jouent le même rôle que ce dernier minéral. L'une d'elles possède la structure à deux

temps, conduisant aux microsanidinites; la sodalite est très abondante et accompagnée de grandes plages de leucite, qui paraît le dernier élément consolidé. La roche est creusée de géodes, que remplissent des cristaux de wernérite (mizzonite), de néphéline, de microsommite, d'orthose, de grenat, de pyroxène, minéraux qui, sur le plancher de la druse, ont imprégné les éléments normaux de la roche.

Cette microsanidinite établit le passage entre les sanidinites à grands éléments et un trachyte à sodalite et leucite dont je n'ai recueilli qu'un seul échantillon, et qui ne diffère du trachyte à sodalite de Scarrupata (page 293) que par l'existence de plages xénomorphes de leucite. La postériorité de la leucite à tous les autres éléments est ici un fait digne d'être noté.

Enfin, en terminant, je signalerai un échantillon fort intéressant qui possède la structure d'une microsanidinite et qui contient des grands cristaux de sanidine (type Grande-Cascade) et des cristaux de leucite de 1 cent. de diamètre, entièrement transformés en un mélange de sanidine en cristaux nets et de sodalite.

Au microscope, on constate que la roche est à deux temps distincts; il existe de grands cristaux d'orthose, d'augite, de mica, accompagnant les pseudomorphoses de leucite dont il vient d'être parlé. Ces dernières sont constituées par des cristaux de sanidine, aplatis suivant $g^1(010)$, offrant parfois la structure pegmatoïde représentée par la figure 29. Ils sont en partie moulés par de la sodalite. Il existe, en outre, parfois un peu d'augite. Ces cristaux d'orthose sont enchevêtrés et souvent implantés en faisceaux sur les parois du pseudocristal de leucite. Le centre de celui-ci est parfois occupé par une géode remplie par des cristaux nets et limpides de sanidine. Un grand cristal d'orthose se trouve-t-il englobé par une de ces pseudomor-

phoses, il sert de centre d'attraction à l'orthose néogène qui s'oriente sur lui et le termine par une bordure de couleur plus claire avec des faces brillantes. Ces pseudomorphoses sont, au point de vue de la structure, et de la composition, identiques à quelques-unes des sanidinites du même gisement. Quant à la pâte de la roche, elle est riche en sodalite et ne diffère de la microsanidinite décrite plus haut que par l'absence de la leucite.

Ces pseudomorphoses de leucite sont celles qui ont été étudiées par A. Scacchi[1], Haidinger, Blum, Rammelsberg[2] et E. Scacchi[3], elles sont identiques à celles des syénites néphéliniques du Brésil et de l'Arkansas. Dans le résumé de ce paragraphe, j'ai montré comment on peut les interpréter.

Massif de Roccamonfina. — Dans mon récent voyage à Roccamonfina, j'ai trouvé des enclaves fort curieuses que je décris ici, tout en faisant quelques réserves au sujet de leur origine. Elles sont constituées par des *syénites néphéliniques* : je les ai trouvées au milieu de scories basiques rougeâtres, peu après avoir quitté le village de Cescheto, sur le flanc O. du Monte la Frascara. Je dois à l'obligeance de M. Bassani des roches analogues qu'il a recueillies en blocs épars à Valogno-Piccolo, non loin des célèbres *leucitophyres* qui contiennent les énormes cristaux de leucite, répandus dans toutes les collections.

Les enclaves de la Frascara renferment beaucoup d'augite, de hornblende vert foncé, d'apatite, de sphène, de magnétite, englobés par de grandes plages d'orthose qui sont associées à un peu de feldspath triclinique. Il existe,

1. *Lezioni di Geologia*. Napoli, 1843. 171.
2. *Poggend. Ann.*, XCVIII, 153, 1856. Les cristaux étudiés étaient transformés en orthose, néphéline avec un peu d'augite.
3. *Rendic. Acc. Napoli*, 1884. La leucite étudiée par ce savant est transformée en orthose et néphéline.

en outre, un minéral incolore du groupe sodalite-haüyne et de la néphéline postérieures aux feldspaths.

Le pyroxène et l'amphibole sont en partie épigénisés par des paillettes de mica d'un noir verdâtre, qui forment aussi des traînées à travers la roche : ce grenat est, dans ce dernier cas, associé à des grains ou à des rhombododécaèdres de grenat.

Ces roches offrent une très grande analogie avec les syénites néphéliniques de Pouzac[1], et j'aurais pu hésiter sur leurs relations avec les roches volcaniques de la région, si je n'avais vu les roches de Valogno-Piccolo, beaucoup plus fraîches et possédant tous les caractères extérieurs des sanidinites. Dans celles-ci, en effet, les feldspaths vitreux, très aplatis suivant g^1 (010) laissent entre eux de très nombreux et très grands interstices, remplis par de grandes plages de néphéline et de sodalite ou haüyne très fraîches. Les éléments plus anciens sont peu abondants, constitués par du sphène, de l'apatite, un peu de pyroxène et de hornblende d'un brun foncé : enfin, il existe, en assez grande abondance, du grenat mélanite.

Bien que ces roches n'aient pas été recueillies en place, il me paraît probable qu'elles sont en relation avec les *leucitophyres*. Les enclaves du Kaiserstuhl, justifient cette opinion. Il y a lieu d'appeler l'attention des géologues qui visitent Roccamonfina sur l'intérêt qu'il y aurait à rechercher des enclaves dans ces leucitophyres.

Latium[2]. — *Lac de Bracciano.* — J'ai parlé plus haut (p. 346) des *sanidinites* des alentours du lac de Bracciano, à l'occasion des calcaires métamorphiques qui les accompagnent.

On peut y distinguer deux types, suivant que les élé-

1. *Bull. Soc. géol.*, 3e série, XVIII, 511, 1890.
2. Pour les Mts Albains, voir Ch. II, § III, p. 531.

ments colorés sont clairsemés ou abondants. Tous deux sont riches en haüyne généralement incolore.

Le type le plus acide est généralement très miarolitique. Le feldspath est de la sanidine en lamelles aplaties suivant g^1 (010), enchevêtrées et moulées par de la haüyne et plus rarement par de la sodalite : il existe en outre du sphène et un peu de pyroxène ou de hornblende brune : ces deux derniers minéraux sont englobés par les feldspaths en cristaux nets ou postérieurs à eux. Parfois, on observe entre les feldspaths et la haüyne un résidu vitreux brunâtre.

A ces divers éléments, vient souvent se joindre le grenat mélanite et c'est dans des sanidinites de ce genre que j'ai décrit, p. 347 (fig. 25[1]), des géodes tapissées de pyroxène et de mica ou de grenat et de pyroxène qui paraissent indiquer l'existence de petites enclaves calcaires dans la roche au moment de sa cristallisation. Les interstices miarolitiques de ces sanidinites sont souvent riches en cristaux nets de sodalite, néphéline, sphène, haüyne, apatite, mélanite, pyroxène, spinelle, etc., décrits par M. Strüver[2].

Dans le second type, le pyroxène est abondant, associé à de la biotite, à de la magnétite et à des feldspaths tricliniques : tous ces minéraux sont englobés dans de larges plages d'orthose : par suite, la roche est pauvre en cavités et en même temps en sodalite. Ces enclaves plus cohérentes que les premières sont comparables à celles qui se trouvent dans les tufs du lac d'Agnano.

Lac de Vico. — L'existence de *sanidinites* dans la région du lac de Vico a été signalée pour la première fois par vom Rath[3]. M. W. Deecke a donné[4] une intéressante descrip-

1. Dans cette figure, le minéral marqué (40) est de la haüyne et non de la sodalite.
2. *R. Acad. Lincei*, CCLXXXII, 1er mars 1885.
3. *Zeitschr. d. d. geol. Gesell.*, XVIII, 566, 1866.
4. *N. Jahrb.* Beil-Bd., VI, 221, 1889.

tion de plusieurs types de ces roches. J'ai moi-même recueilli en 1893 les documents qui m'ont servi pour cette étude.

Ces sanidinites se rencontrent avec les calcaires modifiés décrits page 348, et particulièrement près de la chapelle San Rocco. M. Deecke en a distingué cinq variétés : 1° sanidinite à grains fins, riche en amphibole; 2° sanidinite riche en augite; 3° sanidinite à feldspath triclinique; 4° sanidinite à noséane; 5° sanidinite à magnétite.

Les échantillons des gisements qui ont été précédemment passés en revue rendront très facile l'étude des sanidinites du lac de Vico en apparence très compliquée.

On rencontre tout d'abord des bombes que j'appellerai des *sanidinites normales* : elles sont, en effet, assez friables, pauvres en éléments colorés : le feldspath vitreux est constitué par de la sanidine, aplatie suivant g^1 (010), maclée suivant la loi de Carlsbad et quelquefois accompagnée d'anorthose. Ces lamelles feldspathiques enchevêtrées les unes dans les autres laissent entre elles de nombreux vides remplis par de la haüyne incolore. Il existe un peu de biotite, plus rarement de pyroxène, beaucoup de sphène et quelquefois du zircon, de la magnétite.

Les feldspaths sont riches en inclusions vitreuses, liquides et gazeuses, en petits cristallites de mica, etc. Ces sanidinites sont tout à fait identiques à celles de Bracciano, du lac de Laach, et correspondent au 1er type de M. Deecke. Quelques échantillons sont à très grands éléments.

Dans d'autres, les éléments colorés deviennent très abondants, la hornblende dominant généralement sur l'augite : elle est accompagnée d'une biotite de couleur très foncée et de magnétite. Les cristaux de feldspath ne sont plus exclusivement constitués par de l'orthose ou de l'anorthose; on y constate l'existence du feldspath triclinique. Ils sont toujours aplatis suivant g^1 (010), mais sont plus

petits que dans la roche précédente ; leurs interstices sont également moins nombreux et le minéral dodécaèdrique moins abondant ou même absent. Çà et là, apparaissent de grandes plages d'orthose, englobant un grand nombre de cristaux des éléments colorés et des autres feldspaths.

Nous sommes ainsi conduits à un nouveau type à très grands éléments dans lequel l'orthose ne se présente plus qu'en larges plages englobant du feldspath triclinique, du pyroxène, de l'amphibole et du mica, ainsi que de l'apatite, du zircon, du sphène.

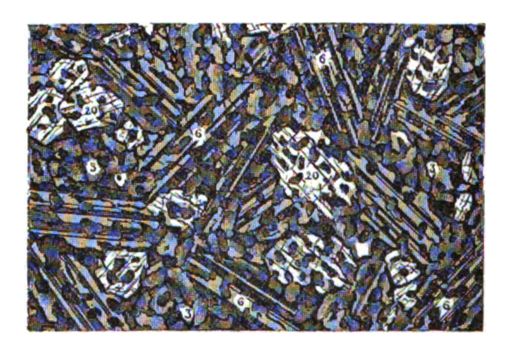


Fig. 30. Sanidinite de S. Rocco : feldspath triclinique, 6. augite 20. en cristaux dentelliformes englobés par de l'orthose (8).

Le mica devient fréquemment dominant parmi les éléments colorés. Ces sanidinites présentent à l'œil nu l'apparence d'un granite porphyroïde, grâce à l'existence des grands cristaux d'orthose; elles offrent de nombreuses variétés, suivant les proportions relatives d'orthose et de feldspath triclinique, suivant celles des feldspaths et des éléments colorés, enfin suivant la prédominance de tel ou tel de ces derniers. Les inclusions vitreuses, les aiguilles d'apatite sont fréquentes dans toutes ces roches dont une partie doit correspondre aux sanidinites à plagioclase de M. Deecke, à une partie seulement, car ce savant signale

dans ses échantillons l'absence de sphène et la rareté relative de la hornblende qui sont généralement abondants dans les blocs que j'ai étudiés. Quant à l'haüyne, elle devient de plus en plus rare dans ces roches très pauvres en cavités.

Un échantillon présente une structure fort curieuse. Le fond de la roche est constitué par de grandes plages de sanidine dans lesquelles sont distribués une très grande quantité de cristaux dentelliformes et vermiculés de feldspath tricliniques à contours extérieurs nets, comme celui des sanidinites du M[te] Olibano. Il existe beaucoup de sphène et du pyroxène vert foncé dentelliforme (fig. 30).

Nous avons maintenant à nous occuper d'un dernier groupe de sanidinite, différant surtout des précédents par la structure. Il s'observe principalement dans les types à la fois riches en sanidine et en augite ou en hornblende. Dans quelques sanidinites miarolitiques, les feldspaths ont une tendance à devenir grenus. Tantôt une partie du feldspath se présente en grains arrondis, le reste formant de grands cristaux aplatis suivant g^1 (010); tantôt, au contraire, tout le feldspath est constitué par de gros grains, moulés par de la haüyne et associés à du pyroxène vert foncé et parfois à de la hornblende. Ces minéraux se présentent soit en gros cristaux, soit en grains. Nous sommes ici en présence de *sanidinites aplitiques*.

Des passages nombreux, conduisent à des roches finement grenues, avec ou sans cristaux porphyroïdes ; ce sont les équivalents des *microsanidinites* décrites plus haut.

Elles sont généralement riches en grands cristaux ou en grains d'amphibole, en paillettes arrondies de mica naissant, en petits granules de sphène, parfois en très petits grenats. Dans quelques échantillons, il existe, surtout au milieu des feldspaths, une quantité prodigieuse d'inclu-

sions gazeuses, liquides et vitreuses, de grains de magnétite, de sphène, d'augite, etc. Ces inclusions sont distribuées, soit d'une façon quelconque, soit parallèlement aux clivages. Enfin, on observe le plus souvent une proportion plus ou moins grande de haüyne. Ces sanidinites semblent correspondre aux types 1 et 2 de M. Deecke.

Dans quelques échantillons, les feldspaths, au lieu d'être franchement grenus, tendent à s'allonger, et l'on voit des roches curieuses, dont la structure oscille entre la structure microgranulitique et la structure microlitique; elles offrent une grande analogie avec certaines roches filonniennes de la famille de la syénite néphélinique. Les sanidinites de ce gisement sont remarquables en ce qu'elles présentent toutes les structures que peut prendre un magma non quartzifère holocristallin.

M. Deecke ne croit pas que ces sanidinites soient en relation avec les *trachytes* et *andésites* du M[te] Cimino, mais les rattache plutôt aux roches du lac de Vico. Parmi ces dernières se trouvent, en effet, des *leucitophyres*, des *trachytes phonolitiques à haüyne*. La composition minéralogique des sanidinites du lac de Vico et les faits déjà signalés dans ce mémoire ne laissent aucun doute sur la légitimité de cette opinion, que je puis du reste appuyer de nouveaux arguments. J'ai, en effet, rencontré une de ces sanidinites du premier type englobée dans un trachyte phonolitique. De plus, dans les champs qui avoisinent la chapelle de S. Rocco, j'ai recueilli une sanidinite à grains fins, riche en biotite et renfermant des masses globuleuses polyédriques blanches, qui paraissent identiques aux pseudomorphoses de leucite de la Somma.

Au microscope, on constate que la roche est une microsanidinite du type habituel à Vico; le magma à structure microgranulitique est en partie formé d'orthose, englobant

de petites plages corrodées de feldspath triclinique ; il existe beaucoup de mica, de grenat, de sphène.

Les cristaux globuleux sont constitués en grande partie par des feldspaths en plus grands éléments que dans la pâte de la roche ; les lamelles d'orthose forment souvent des faisceaux, appuyés sur la périphérie de la pseudomorphose qui contient parfois du feldspath triclinique ; les éléments colorés y sont presque entièrement absents. Cette roche renferme de grands cristaux d'augite, entourés de paillettes de biotite semblant s'être formées à leurs dépens.

Enfin, je dois à l'obligeance de M. Fouqué un fragment de roche recueillie dans des tufs des environs de Viterbe (sans indication plus précise). C'est une sanidinite à leucite très riche en leucite, renfermant de la sanidine, de l'augite et un peu d'apatite.

Toscane. — *Lac de Bolsena*. — Aux environs du lac de Bolsena, près Pitigliano (au Corte del Re), dans des tufs renfermant des *roches à leucite* et des *trachytes*, vom Rath a signalé[1] des *sanidinites* à haüyne, augite, magnétite, sphène, qu'il compare à celles du lac de Laach, sans les décrire en détail. Je ne cite ce gisement que pour mémoire, n'ayant pas eu l'occasion d'en voir des échantillons.

Basilicate. — *Vulture*. — M. Bassani m'a donné un échantillon d'une *sanidinite à sodalite*, formée par des cristaux globuleux de sodalite, du pyroxène vert foncé très pléochroïque, du sphène et du mélanite, englobés dans de la sanidine. Cette roche tout à fait différente de celles qui sont décrites page 540 provient sans doute des tufs à sanidine, leucite et mélanite, des environs de Melfi, antérieurs aux tufs à haüyne[2].

1. *Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.*, XX, 279, 1868.
2. Pour ces tufs, voir Deecke, *N. Jahrb.*, Beil. Bd. VII, 605, 1891.

CHAPITRE II

ENCLAVES HOMŒOGÈNES DES ROCHES BASALTOÏDES

Dans le chapitre précédent, on a vu que chaque groupe de *roches volcaniques trachytoïdes* renfermait deux sortes d'enclaves homœogènes grenues, les unes, ayant sensiblement la composition de la roche englobante, les autres, au contraire, étant plus basiques. D'une façon générale, les enclaves homœogènes du premier type (*sanidinites, syénites néphéliniques*) sont plus fréquentes que celles du second.

Dans les *roches basaltoïdes*, nous allons retrouver ces deux catégories d'enclaves homœogènes, mais leur degré de fréquence relative est inverse de celui que je viens d'indiquer pour les roches trachytoïdes, c'est-à-dire que ce sont les enclaves plus basiques que la roche volcanique qui sont de beaucoup les plus abondantes.

Nous aurons successivement à considérer à ce point de vue :

§ I. Roches basaltoïdes à feldspaths seuls (*basaltes, labradorites* et *andésites augitiques*).

§ II. Roches basaltoïdes à feldspath et feldspathoïde (*téphrites* et *leucotéphrites*).

§ III. Roches basaltoïdes sans feldspaths (*leucitites, néphélinites, basaltes mélilitique, augitites* et *limburgites*).

Dans chacun de ces groupes de roches, j'étudierai successivement les enclaves comparables à la forme grenue

de la roche volcanique (elles sont à ces roches ce que les *sanidinites* sont aux trachytes), puis les roches plus basiques que la roche volcanique elle-même.

Il existe, entre ces deux catégories d'enclaves, de plus grandes différences qu'entre les divers types d'enclaves homœogènes des roches trachytoïdes, aussi les étudierai-je dans des paragraphes distincts.

I. Roches basaltoïdes à feldspaths seuls.

(ANDÉSITES AUGITIQUES, LABRADORITES, BASALTES)

Dans les roches basaltoïdes à feldspaths seuls, je distinguerai deux sortes d'enclaves homœogènes, les unes feldspathiques, se rapprochant de la composition moyenne de la roche englobante, les autres, non feldspathiques et par conséquent plus basiques.

1° *Enclaves feldspathiques.*

Résumé et conclusions. — Les roches basaltoïdes à feldspaths seuls sont des roches d'origine purement ignée : les célèbres expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy, les phénomènes que nous avons sous les yeux dans les éruptions volcaniques actuelles, enfin, les résultats auxquels je suis arrivé dans la première partie de ce mémoire ne laissent aucun doute à cet égard. Il en résulte que la condition nécessaire pour qu'une roche de ce groupe puisse prendre la structure granitoïde, consiste dans un refroidissement suffisamment lent. Il n'est plus indispensable, par suite, comme pour les roches acides, que la cristallisation s'effectue plus ou moins en profondeur, dans des conditions particulières de pression, et en présence de minéralisateurs énergiques. Aussi, dans les coulées épaisses de plusieurs régions, trouve-t-on de véritables

diabases holocristallines, plus ou moins basiques, pouvant être considérées comme la forme grenue des divers types pétrographiques dont je m'occupe ici.

Par contre, ces roches basaltoïdes renferment, bien plus rarement que les roches trachytoïdes, des roches grenues feldspathiques provenant de leur cristallisation en profondeur. Cela tient sans doute à ce que les roches basiques sont très fusibles et que, d'une façon générale, très près de la surface, elles sont encore à une température trop élevée pour permettre la cristallisation en masse de leur feldspath.

Quand, dans quelques cas particuliers (Puy de Dôme, Coirons, Etna, Açores, Antilles), il existe des enclaves feldspathiques, celles-ci présentent toujours un caractère commun, elles contiennent de la *hornblende basaltique*, dont la formation, dans un magma fondu, semble impliquer des conditions spéciales de pression, réalisées en profondeur. On verra plus loin que ce minéral est caractéristique des enclaves non feldspathiques des mêmes roches.

Ces enclaves feldspathiques sont formées par de la hornblende brun rouge foncé, de l'augite, un feldspath basique (labrador ou anorthite), de l'apatite, de la magnétite. Les inclusions vitreuses sont souvent très abondantes dans tous les éléments.

La structure est souvent grenue avec parfois une tendance à la structure ophitique. Dans d'assez nombreux échantillons, les éléments colorés ont des formes nettes et sont englobés dans d'énormes plages de feldspath ; la roche possède ainsi une sorte de structure pœcilitique. Malgré cette grande cristallinité, il existe parfois un léger résidu vitreux, au milieu duquel se rencontrent des microlites plumeux de feldspath triclinique.

Ces roches doivent être considérées comme le résultat de la consolidation plus ou moins complète du magma volcanique. Cette opinion est légitimée d'une part par leur composition minéralogique, d'une autre par la considération des propriétés et des formes de leurs minéraux ferrugineux (magnétite, amphibole, augite) qui sont identiques à celles des mêmes minéraux que l'on rencontre, aussi



Fig. 31. — Hornblende d'une labradorite de la Besseyre (H^te-Loire), en voie de transformation en augite et en produits ferrugineux.

bien dans les tufs basaltiques que dans les basaltes des régions d'où proviennent ces enclaves basiques.

Quand ces enclaves sont englobées par la lave au lieu de se présenter dans des tufs, leurs éléments et particulièrement la hornblende subissent les mêmes phénomènes de fusion et de résorption que les grands cristaux intratelluriques de la roche englobante.

Ce mode de transformation est tout à fait identique à celui que subissent les cristaux de hornblende des roches basiques d'un grand nombre de gisements, et notamment de ceux du Velay. Je dois le cliché de la fig. 31 à l'obligeance de M. Boule, qui en a signalé [1] de nombreux exemples dans les *andésites augitiques* et les *labradorites* de cette région.

J'ai décrit, page 132, des roches basiques enclavées dans des basaltes, en les considérant comme des roches étrangères à la roche volcanique qui les englobe, j'ai signalé quelques cas douteux, dans lesquels les roches en question pourraient être considérées comme des enclaves homœogènes, analogues à celles qui sont étudiées ici : elles ne contiennent pas de hornblende.

Les *andésites à hornblende* établissent le passage entre ce que j'ai désigné sous le nom de roches trachytoïdes et de roches basaltoïdes, aussi n'est-il pas étonnant de voir que leurs enclaves homœogènes présentent une certaine analogie de composition minéralogique avec celles qui sont décrites ici.

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme*. — Je dois à l'obligeance de M. Gonnard deux échantillons provenant des *tufs basaltiques* d'Ardes et de Perrier, près Issoire.

L'échantillon de Perrier est à grands éléments de hornblende, de labrador et de magnétite titanifère. Au microscope, en outre de ces minéraux, on constate un peu d'augite et une grande quantité de gros cristaux d'apatite, qui sont surtout englobés par la hornblende et la magnétite. Il existe une très grande quantité de verre brunâtre renfermant quelques microlites d'augite et de feldspath tricli-

1. *Bull. Carte géol. de France*, n° 28, t. III, 1892.

nique. Ce verre secondaire paraît dû, au moins en partie, à la fusion partielle des minéraux de la roche : il se trouve en effet surtout à la ligne de jonction des plages feldspathiques et à leur contact avec l'amphibole dont les bords sont alors corrodés : ce minéral ne présente pas de phénomènes de résorption.

Les minéraux ferrugineux de l'enclave d'Ardes sont moins grands. A l'œil nu, on y distingue les mêmes éléments : l'augite forme quelques gros cristaux raccourcis m (110), h^1 (100), g^1 (010), $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$), la hornblende, très abondante, est allongée suivant la zone verticale, elle possède les mêmes faces que l'augite avec, en outre, p (001); la magnétite forme des cristaux nets a^1 (111) avec traces de b^1 (110). Tous ces cristaux sont identiques à ceux que l'on rencontre dans les *tufs basaltiques* de nombreux gisements du Puy-de-Dôme.

Au microscope, on constate, comme dans l'échantillon précédent, une grande quantité d'apatite.

Le feldspath est à plus grands éléments que dans la roche de Perrier, il englobe tous les autres minéraux, ses grandes plages offrant ainsi la structure pœcilitique. Çà et là, s'observe un peu de verre brun primaire, clair, très riche en longs microlites plumeux de feldspath triclinique, donnant un cachet assez curieux à cette roche presque holocristalline : ce genre de structure que j'ai retrouvé dans des enclaves de Roccamonfina et de la Somma n'est évidemment pas celui d'une roche consolidée dans des conditions normales.

Ardèche. — Les basaltes des Coirons contiennent parfois des enclaves feldspathiques dont j'ai étudié quelques bons échantillons provenant de Rochemaure. La roche englobante est un *basalte porphyroïde*, renfermant des microlites de hornblende et de biotite.

Les enclaves sont formées par de très grandes plages de labrador englobant des cristaux d'apatite, de magnétite, d'augite et de hornblende brune. Celle-ci forme des cristaux nets, en voie de résorption en baguettes d'augite, associées à des lamelles de biotite, à de petites aiguilles de hornblende et à de la magnétite. La hornblende étant complètement entourée par le feldspath, sa transformation ne peut être attribuée qu'à la seule action de la chaleur.

Dans la première partie de ce mémoire, j'ai décrit p. 136 des enclaves de roches grenues à anorthite et pyroxène qui se rencontrent en Auvergne et dans diverses autres régions; j'ai exposé les raisons pour lesquelles je les considère comme des enclaves enallogènes de roches anciennes. Si toutefois ma manière de voir à cet égard était inexacte pour quelques-unes d'entre elles, c'est à la catégorie de roches étudiées ici qu'il y aurait lieu de les rapporter.

Etna. — J'ai trouvé dans la collection du Muséum d'histoire naturelle un échantillon d'une roche à très grands éléments, formée par des cristaux d'anorthite, d'augite et de hornblende. Elle provient de l'Etna et semble présenter, avec les *labradorites* de ce volcan, les mêmes relations que la roche précédente avec le basalte des Coirons.

La hornblende est verdâtre, non résorbée, elle est intimement associée à l'augite; ces deux minéraux sont accompagnés par des cristaux d'anorthite atteignant 1^{cm} de plus grande dimension. Les inclusions vitreuses sont abondantes, et il existe par places un léger résidu de verre brunâtre. L'augite renferme des cristaux brun rouge, sans formes nettes, qui semblent constitués par de l'olivine altérée.

Açores. — On connaît depuis longtemps, dans les tufs de San Miguel, des roches grenues basiques prove-

nant de Pico Alto, Punta da Ferraria, Pico das Camarinhas, et associées à des *basaltes*. Elles ont été décrites par Hartung[1], par MM. Mügge[2] et Pacheco do Canto[3]. Ce dernier savant les a considérées comme des enclaves de roches étrangères, alors que M. Mügge les a regardées comme liées au basalte par les mêmes relations qui unissent les sanidinites de Lagoa do Fogo aux trachytes à œgyrine. C'est de cette façon que je crois devoir les interpréter.

Les échantillons que j'ai étudiés ont été recueillis par M. Fouqué à Ferraria, les uns étaient isolés dans les tufs, les autres, englobés dans le basalte. Au point de vue de la composition chimique, ils sont tout à fait comparables à la roche de Rochemaure décrite plus haut. Il existe de l'apatite, de la magnétite, d'énormes cristaux de hornblende et du feldspath triclinique (labrador ou bytownite) parfois englobé par l'amphibole, mais la moulant le plus souvent. Les inclusions vitreuses sont très abondantes.

La hornblende présente des phénomènes de résorption très intenses (Pl. VIII, fig. 10). Elle se transforme en microlites d'augite, orientés sur le minéral ancien et formant des squelettes de grands cristaux. Ils sont mélangés de magnétite, d'un peu de hornblende de nouvelle formation et d'un minéral brun foncé, pléochroïque, lamelleux, dont je n'ai pu avec certitude déterminer la nature. M. Pacheco do Canto a décrit des types très micacés, provenant de Pico das Camarinhas.

Canaries. — C'est sans doute à cette catégorie d'enclaves homœogènes qu'il y a lieu de rattacher au moins une partie des *dolérites* holocristallines décrites par

1. Die Azoren, 1863.
2. *Neues Jahrb.*, 1883, II, 220.
3. *Recherches micrographiques sur quelques roches des Açores*. Lisbonne, 1888, 63.

MM. V. Fritsch et Reiss dans les tufs d'un grand nombre de localités des Canaries [1].

Antilles. — *Martinique*. — Dans une *labradorite* de la collection des roches des Antilles recueillies par Ch. Ste-Claire Deville, j'ai trouvé une petite enclave grenue formée de hornblende, de labrador et de magnétite. La roche est un peu ophitique et contient une petite quantité de verre brunâtre. Elle provient de la Martinique.

Trinidad. Je dois à l'obligeance M. de Lapparent une belle roche grenue à bytownite, augite et hornblende, tout à fait analogue à celle de l'Etna décrite plus haut, mais à moins grands éléments. Elle lui a été rapportée des Antilles et donnée comme provenant de Trinidad, sans indication plus précise.

Le feldspath est extrêmement riche en inclusions vitreuses ; il existe un résidu vitreux avec quelques microlites feldspathiques. Les plages feldspathiques en bordure sur le verre ont des formes géométriques, ce qui serait un argument en faveur de l'origine primaire de ce verre, mais, par places, celui-ci semble avoir rempli des cassures mécaniques du feldspath, et renfermer des plages corrodées d'augite. Il est donc possible que l'on soit ici en présence de phénomènes de corrosion dus à l'action du magma basaltique. Cette roche est grenue, bien que le pyroxène ait une tendance à présenter, avec le feldspath, la structure ophitique.

2° *Enclaves non feldspathiques.*

Les enclaves non feldspathiques des roches basaltoïdes peuvent être divisées en deux catégories. Elles se rencontrent dans les types les plus basiques (*basaltes*).

1. *Geol. Beschreib. d. Insel Tenerife*, 1868, 401.

L'une est formée par les *nodules à hornblende*, *augite*, etc., sur l'origine desquels il me semble que tout le monde est d'accord. L'autre est constituée par les *nodules à olivine*, qui donnent lieu encore aujourd'hui à des controverses nombreuses; aussi ai-je cru devoir les étudier dans un paragraphe spécial.

A. Nodules à hornblende et pyroxène.

Résumé et conclusions. — Les *basaltes* et surtout les *tufs basaltiques* renferment très souvent, en grande abondance, des cristaux et des fragments brisés d'augite et de hornblende; dans un grand nombre de gisements, on y rencontre, en outre, des bombes constituées par les mêmes minéraux seuls ou associés, il existe parfois, en outre, de l'olivine, de l'apatite, de la magnétite ou du fer titané, très rarement de la biotite. La hornblende basaltique est généralement postérieure aux autres élements.

La dimension des divers éléments varie avec les échantillons : ceux-ci sont quelquefois finement grenus, souvent, au contraire, les cristaux de hornblende atteignent plusieurs centimètres de plus grande longueur.

Ces agrégats ne sont pas toujours holocristallins, ils renferment souvent de la matière vitreuse, soulignant les formes géométriques des éléments qu'elle entoure.

Des inclusions gazeuses ne se rencontrent que dans les minéraux des bombes de quelques gisements; les inclusions vitreuses sont, au contraire, abondantes dans beaucoup d'entre eux.

Les cristaux isolés des tufs, aussi bien que ces nodules cristallins, sont constitués par les minéraux que l'on observe, dans la roche volcanique, en grands cristaux de la phase intratellurique.

Il est donc logique de considérer les uns et les autres comme le résultat de cristallisations effectuées en profondeur dans le magma basique.

De même que pour les enclaves feldspathiques, lorsque ces nodules à hornblende sont englobés dans une lave massive, on peut observer les phénomènes de fusion et de recristallisation dont il a été question plus haut.

La composition minéralogique de ces nodules étant toujours la même, il me paraît inutile de multiplier les descriptions et les citations de gisements, je me contenterai de signaler quelques-uns des échantillons du Plateau Central de la France que j'ai eu l'occasion d'étudier plus particulièrement.

Notons en passant que ces nodules à hornblende accompagnent généralement les nodules à olivine.

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme*. — J'ai recueilli en assez grande abondance dans le basalte de Montaudou près Royat des nodules à augite, hornblende, olivine, etc., présentant des passages avec les nodules à olivine qui seront étudiés plus loin. Ils sont à plus grands éléments que ces derniers, et de teinte plus foncée, verte ou noire; l'olivine y est souvent rare ou même disparaît complètement, aussi les produits de décomposition y sont-ils peu abondants. Tantôt les divers éléments atteignent 1^{cm}, tantôt, au contraire, ils n'ont qu'une fraction de millimètre.

Le pyroxène est vert très clair ou incolore; la hornblende brune est parfois accompagnée de biotite de même couleur. Ces deux minéraux sont postérieurs au pyroxène et à l'olivine.

Ces nodules présentent toujours des phénomènes de fusion plus ou moins intenses.

Le pyroxène se charge d'inclusions vitreuses, puis se

creuse de cavités irrégulières et curvilignes qui se remplissent de matière vitreuse. L'amphibole et la biotite sont corrodées d'une façon irrégulière et se transforment en squelettes de baguettes de pyroxène, toujours accompagnées d'une quantité considérable de lamelles brunes d'ilménite (?).

Ce pyroxène néogène est cristallographiquement orienté sur le minéral aux dépens duquel il s'est formé, de telle sorte que lorsqu'on éteint ce dernier en lumière polarisée parallèle, on voit apparaître avec tous leurs détails les squelettes pyroxéniques.

Il est possible de suivre pas à pas la transformation de ces minéraux jusqu'à leur résorption complète. Le pyroxène étant le moins fusible, reste souvent attaqué; la roche est alors constituée par de grands cristaux de pyroxène intacts ou en voie de transformation, englobés par ces moules étranges que représente la fig. 12 de la Pl. VIII. Ce mode de résorption de l'amphibole et du mica est tout à fait identique à celui dont il a été plusieurs fois question dans ce mémoire. (fig. 31); dans la plupart des cas, il est dû à la seule action de la chaleur.

Quelques échantillons sont en outre pénétrés par le verre basaltique. L'intervalle existant entre les cristaux récents d'augite et d'ilménite est alors rempli par du feldspath, auquel se mêlent de longues baguettes d'olivine allongées suivant l'axe vertical.

La fig. 3 de la Pl. VIII montre une enclave dans laquelle le pyroxène est lui-même en partie fondu et a recristallisé. Il présente des groupements réguliers avec de l'amphibole brune.

Les nodules à hornblende sont assez abondants dans les pépérites du Puy-de-Dôme. Je dois à l'obligeance de M. P. Gautier des échantillons provenant de diverses localités;

ceux du Vermilier, près Sugères, sont presque entièrement formés par de grands cristaux de hornblende, avec fort peu d'augite.

Un échantillon, recueilli à Thinlhat, est composé d'un pyroxène très pléochroïque (n_g = jaune, n_m = n_p = brun violacé), et doué d'une forte dispersion, accompagné de beaucoup d'apatite et de magnétite. L'apatite renferme des inclusions liquides à bulle et des inclusions vitreuses. Ces dernières abondent dans le pyroxène. Un bloc trouvé dans les pépérites de la même localité, à l'ouest du Petit Turluron, ne contient pas d'apatite, mais renferme un peu de hornblende et de grands moules calcifiés d'olivine. Il existe de la matière vitreuse brunâtre, chargée de calcite et de christianite. Le pyroxène violacé est à peine pléochroïque, il renferme des inclusions vitreuses.

Un autre fragment d'une enclave du même genre provenant de la partie supérieure des pépérites du château des Granges, près Saint-Jean d'Heurs, au lieu d'être formé, comme les deux précédents, par l'enchevêtrement de petites plages d'augite, est constitué par d'énormes cristaux du même minéral, faculés de hornblende brune. Ce pyroxène est creusé de nombreuses cavités de corrosion remplies de verre brunâtre en partie calcifié.

Cantal. — J'ai étudié un échantillon du *basalte* de Chavaroche, près du Puy Mary, contenant par places des enclaves de hornblende avec un peu d'augite et d'apatite. Au contact de l'enclave et du basalte, on observe d'intéressants phénomènes de résorption et de pénétration du verre basaltique dans le nodule. La hornblende est en voie de transformation en grands cristaux et en microlites d'augite à groupements cristallitiques.

Dans une excursion faite avec MM. Fouqué et Boule, au suc de Védrine, près Molompize, nous avons recueilli,

dans les tufs basaltiques, une grande quantité de fragments de nodules identiques à ceux de Chavaroche, ainsi que de gros fragments de hornblende et d'augite englobant des prismes d'apatite.

Haute-Loire. — Les scories basaltiques du Velay sont assez riches en bombes à hornblende et augite, accompagnant les nodules à olivine. On peut citer notamment à cet égard les gisements de Tareyre, d'Alleyras, de Saint-Anne, de Taulhac, de Bilhac, de Sainzelle, etc. Plus nombreux encore sont les fragments épars d'augite et de hornblende.

Outre la hornblende et l'augite, ces nodules sont riches en apatite, ilménite; ils contiennent parfois de l'olivine.

J'ai eu l'occasion d'en étudier un assez grand nombre d'échantillons recueillis par moi ou provenant de la collection de L. Pascal, conservée au Muséum d'histoire naturelle.

Les nodules à augite sans amphibole paraissent plus abondants que dans les gisements précédents. On rencontre parfois des nodules de la grosseur du poing, qui sont constitués par l'agrégat d'un très grand nombre de cristaux d'augite de taille très variée, mais possédant une même orientation cristallographique.

En lames minces, le pyroxène varie du vert bouteille au vert extrêmement pâle; de même que l'apatite et la hornblende, il est criblé d'inclusions vitreuses.

Quelques échantillons sont pénétrés de verre basaltique, noir, opaque, ne contenant que de rares microlites de labrador; à son contact, l'augite est sur quelques dixièmes de millimètre creusée de cavités de corrosion remplies de verre opaque. Cette bordure festonnée de noir donne un curieux aspect aux grands cristaux d'augite.

Les phénomènes de corrosion et de recristallisation

sont, du reste, les mêmes que dans les nodules à hornblende de Montaudou.

Je dois à M. Boule un intéressant échantillon provedant du volcan du Bouchet qu'il a lui-même décrit. La fig. 32 est empruntée à sa thèse sur la description géologique du Velay[1].

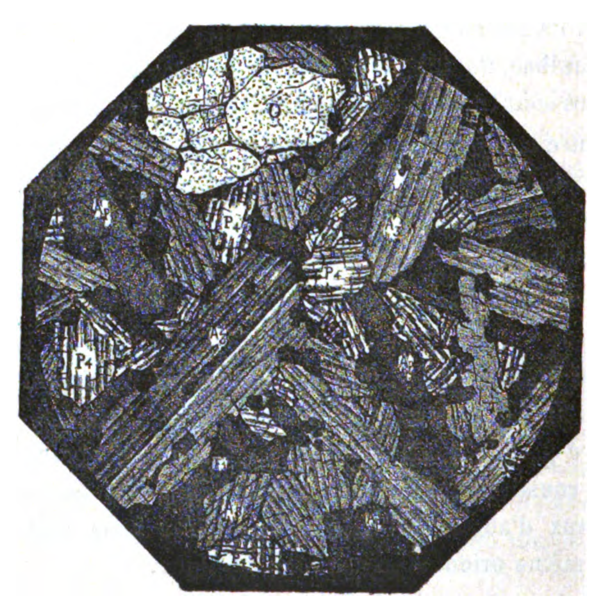


Fig. 32. — Nodule à hornblende (A_3), augite (P_4) et olivine (O) du volcan du Bouchet.

La hornblende, allongée suivant l'axe vertical, présente par places des formes nettes. Elle englobe une grande quantité de longues aiguilles d'apatite, de la magnétite et de l'augite. Enfin, il existe quelques cristaux d'olivine, plus anciens que les autres minéraux ferrugineux. La partie de la roche qui a été dessinée est holocristalline, mais il

1. *Op. cit.*, 228, fig. 66.

existe dans d'autres points de l'échantillon, du verre qui renferme des cristallites ferrugineux et des microlites d'augite. L'abondance de l'apatite, la nature du pyroxène (augite verdâtre), les formes nettes que prend, par places, la hornblende, enfin, l'existence de la matière vitreuse ne permettent pas de ranger cet échantillon parmi les nodules à olivine.

Ardèche. — Les *tufs basaltiques* et les *basaltes* des Coirons sont également riches en nodules à hornblende et augite renfermant parfois des prismes d'apatite. Faujas de St-Fond[1] a, du reste, depuis longtemps signalé ces gisements. J'en ai examiné plusieurs échantillons provenant des environs du château de Rochesauve. Ils sont formés d'augite violacée et de hornblende brune très pléochroïque et très biréfringente, comme celle qui existe toujours dans ces nodules : elle est accompagnée de magnétite. Les inclusions vitreuses sont extraordinairement abondantes, aussi bien dans l'augite que dans la hornblende.

M. Gaubert en a recueilli d'analogues dans les projections basaltiques de Chenavari près Rochemaure.

Hérault. — J'ai eu l'occasion d'examiner des nodules à augite et à hornblende des tufs basaltiques de Montferrier, près Montpellier, et des environs d'Agde; ils ne présentaient aucune particularité digne d'être notée.

B. Nodules à olivine.

Résumé et conclusions. — Les plus abondantes des enclaves que l'on trouve dans les *basaltes* et les *tufs basaltiques* sont, sans contredit, les *nodules à olivine*. Dans certaines régions, ils se rencontrent en quantité con-

1. *Op. cit.*

sidérable en blocs souvent anguleux : quelques-uns d'entre eux peuvent atteindre et même dépasser une centaine de kilogrammes.

Ces nodules sont plus abondants parmi les produits de projection que dans les roches massives. Dans les tufs, ils forment souvent le centre de bombes entourées de lave. Ils se rencontrent généralement en plus grand nombre dans les dykes peu épais, dans les basaltes compactes et sur le bord des coulées qui se sont refroidies rapidement. Ils manquent dans quelques régions basaltiques, telles que l'Irlande et l'Ecosse.

Depuis longtemps, les nodules à olivine ont appelé l'attention des minéralogistes et des géologues [1] : ils ont été si souvent décrits qu'il reste peu de chose à en dire au point de vue minéralogique; c'est pourquoi je ne me suis pas attardé à citer un grand nombre de gisements, me contentant de passer en revue les échantillons provenant de gisements que j'ai moi-même visités, ou présentant des particularités intéressantes.

Quant à leur origine, elle a suscité de nombreuses discussions, et l'accord n'est pas encore fait à ce sujet. C'est pour cette raison que je les ai étudiés dans un paragraphe spécial.

1. On peut citer notamment : Faujas de St-Fond. *Minéralogie des volcans*, et *op. cit.*, etc.— L. de Buch : *Physikal. Beschreib. der Canarisch. Inseln.* 303. — Bishof. *Lehrb. d. chem. u. phys. Geol.* I, Aufl. II, 681. — Gutberlet : *Einschlüsse in vulcan. Gesteinen.* Fulda, 1859, 24. — Daubrée : *C. Rendus*, LXII, 1866, 62, etc. *Ann. des mines*, XIII, 1868. — Sandberger : *N. Jahrb.*, 1866, 400, etc. — Dressel : *Die Basaltbildung*, Haarlem, 1866, 50. — Roth. *Sitz. d. k. Akad. d. Wissensch. Wien*, I, 1867. — Laspeyres : *Abhandl. d. k. Akad. Wissensch. Berlin*, 1869, 356. — Becker : *Zeitschr. d. d. geol. Gesell.* XXXIII, 31, 1883 et XXXVII, 10, 1885. — Bleibtreu : *Zeitschr. d. d. geol. Gesell.* XXXV, 489, 1883. — Dœlter et Hussak : *N. Jahrb.*, 1884, I, 18. — Max Bauer : *N. Jahrb.*, 1890, etc , sans compter les auteurs des traités de pétrographie et particulièrement MM. Rosenbusch et Zirkel, qui se sont occupés de cette question.

M. Des Cloizeaux a montré[1] l'analogie de composition minéralogique des nodules à olivine et de la lherzolite dont M. Damour avait récemment donné la description. M. Daubrée[2] a insisté sur ce point, en faisant voir en outre la parenté minéralogique existant entre ces deux catégories de roches et un grand nombre de météorites.

Les nodules à olivine sont des roches holocristallines constituées par de l'olivine, du pyroxène rhombique (enstatite ou bronzite), du diopside chromifère et un spinelle chromifère (picotite ou chromite).

L'enstatite et le diopside peuvent être plus ou moins abondants, mais manquent rarement.

La structure est franchement grenue ; aucun des éléments n'a de formes géométriques, le pyroxène, puis la picotite sont postérieurs aux autres minéraux. M. Max Bauer a cependant signalé des formes distinctes dans des échantillons provenant des environs de Marburg.

L'olivine est souvent riche en inclusions liquides avec bulle, tantôt très mobile, tantôt immobile. Ces inclusions liquides sont plus rares dans l'enstatite et le diopside. On rencontre parfois dans tous ces minéraux des inclusions vitreuses, n'existant qu'au contact du basalte d'après M. Becker, ou se rencontrant uniformément distribuées (M. Max Bauer[2]). Dans le premier cas, elles sont certainement d'origine secondaire.

L'enstatite (bronzite) possède parfois des inclusions brunes, distribuées régulièrement : elles ont été considérées, par Trippke, comme constituées par des cristaux négatifs remplis par de l'opale ferrugineuse. M. Bleibtreu, au contraire, les regarde comme formées par de la picotite.

1. *Manuel de Minéralogie*, 1862.
2. *Op. cit.*

L'enstatite renferme assez souvent de fines bandelettes d'un pyroxène monoclinique, maclé avec elle suivant la loi habituelle, la face h^1 (100) du diopside étant appliquée sur la face g^1 (010) de l'enstatite. Plus rarement, c'est le diopside qui renferme des bandelettes d'enstatite.

Dans quelques nodules à olivine, les cristaux d'enstatite sont tordus ou brisés, l'olivine présente des extinctions ondulées, phénomènes qui, dans les péridotites anciennes, sont considérés comme dus au dynamométamorphisme.

Tous ces caractères de composition et de structure se retrouvent dans les lherzolites éruptives.

A côté de ce type normal des nodules à olivine, se rencontrent des variétés plus rares, caractérisées par la présence de la hornblende brune basaltique, qui moule tous les autres éléments.

Les nodules à olivine amphiboliques sont parfois pauvres en enstatite, et même en olivine et en picotite; le diopside chromifère y est alors remplacé par de l'augite. Le pyroxène et l'amphibole sont associés d'une façon très intime, l'amphibole formant des facules dans les cristaux de pyroxène ou les entourant. M. Bleibtreu a signalé, dans quelques nodules du Finkenberg du mica, de l'apatite, rarement un peu de feldspath. Il est difficile d'établir une limite bien nette entre ces types anormaux de nodules à olivine et les nodules qui ont été décrits dans les paragraphes précédents. Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que j'ai rencontré dans les lherzolites des Pyrénées des accidents minéralogiques tout à fait comparables à ceux que je viens d'énumérer rapidement.

Les nodules à olivine sont souvent altérés par voie secondaire, ce qui s'explique aisément, étant donnée la facilité avec laquelle l'olivine se décompose.

Le mode d'altération le plus fréquent est la *rubéfaction.*

Les nodules deviennent d'un rouge d'ocre foncé. L'examen microscopique fait voir que l'olivine est craquelée et imprégnée par de l'oligiste transparente et pléochroïque, qui se glisse dans ses clivages et ses moindres fissures. Il est facile de reproduire expérimentalement ce mode d'altération en chauffant pendant peu de temps au rouge, et en présence de l'air, un fragment de la roche intacte.

Dans d'autres cas, l'olivine se transforme en produits serpentineux, plus ou moins fibreux et biréfringents, et souvent aussi, elle est épigénisée par des carbonates rhomboédriques.

A côté de ces *altérations*, les nodules à olivine présentent, surtout quand ils sont englobés par une lave en coulée, des *modifications métamorphiques*; celles-ci sont le résultat soit de l'action de la chaleur seule sur le nodule, soit de l'action du magma volcanique sur son enclave.

Ces modifications métamorphiques sont bien connues depuis les travaux de MM. A. Becker, Bleibtreu, Dœlter et Hussak ; j'en ai moi-même observé de nombreux exemples. Les minéraux des nodules disparaissent suivant leur ordre de fusibilité : le diopside le premier, puis l'enstatite et enfin l'olivine. Suivant l'intensité de la transformation, le diopside seul ou tous les minéraux de la roche peuvent être attaqués. Des inclusions vitreuses secondaires se développent, les minéraux fondent d'une façon irrégulière, se démolissent plus ou moins complètement. Le diopside et l'enstatite se transforment en augite d'un brun violacé, dont les cristaux prismatiques s'orientent souvent en grand nombre dans une même direction pour former le squelette d'un grand cristal (Pl. VIII, fig. 6 et 12). Au contact du basalte, il arrive souvent que ce squelette se ferme et se termine dans la roche volcanique par un cristal à contours continus. Souvent aussi cette augite récente s'oriente

cristallographiquement sur le minéral (diopside ou enstatite) en voie de transformation, rappelant ce que nous avons déjà vu dans diverses autres catégories d'enclaves qui contiennent des pyroxènes rhombiques (Pl. III, fig. 7).

L'olivine recristallise aussi parfois; les formes qu'elle prend alors sont différentes de celles qui sont habituelles à ce minéral. Ses cristaux s'allongent suivant la zone h^1 g^1 (100) (010) et prennent souvent des formes cristallitiques.

Le spinelle est fréquemment corrodé : les minéraux silicatés lui servant sans doute de fondant; il recristallise sous forme de petits octaèdres englobés par les autres minéraux récents ou entourant le spinelle ancien (Pl. VIII, fig. 11). L'amphibole et le mica se transforment, comme dans toutes les enclaves étudiées antérieurement, en microlites d'augite, orientés régulièrement et généralement associés à des produits ferrugineux (Pl. VIII, fig. 10).

Quand la fusion a été très intense, il arrive souvent que l'on ne rencontre plus que quelques fragments intacts, noyés dans du verre et accompagnés de minéraux recristallisés automorphes (Pl. VIII, fig. 2, 4 et 8) : l'origine de semblables agrégats pourrait être douteuse si l'on n'avait sous les yeux de nombreux échantillons, montrant toutes les étapes de la transformation. Les fragments de nodules à olivine peuvent être ainsi complètement détruits et ne laisser de traces que sous forme de quelques débris (enstatite, olivine, etc.) épars dans le basalte.

Lorsque les nodules à olivine sont fissurés, il sont pénétrés par le basalte qui tantôt possède sa composition normale, et tantôt se modifie. M. Becker a observé que souvent ces filonnets d'injection étaient d'autant plus vitreux qu'ils étaient considérés plus loin du basalte. M. Bleibtreu a décrit des nodules du Finkenberg dans lesquels le basalte injecté était presque réduit à ses éléments

feldspathiques. Dans mes échantillons, il est généralement endomorphisé et rendu plus basique. Dans quelques cas particuliers, M. Bleibtreu a signalé de véritables feldspathisations de nod ues à olivine.

On peut se demander si les transformations décrites plus haut sont le résultat de la simple fusion des éléments les plus fusibles du nodule, suivie d'une recristallisation, ou si, au contraire, elles sont dues à l'action du magma basaltique. Les deux cas se rencontrent, c'est ainsi que la fig. 11 de la Pl. VIII représente des nodules modifiés en un point où n'a probablement pas pénétré le magma basaltique. De grandes plages de spinelle ont été dissoutes par le verre résultant de la fusion du pyroxène, il s'est précipité du spinelle en cristaux nets, puis il s'est produit de l'anorthite en grandes plages (Tareyre) accompagnée par de l'augite et de l'olivine néogènes.

D'autre part, en fondant des fragments de nodules à olivine ou de leurs éléments constitutifs, avec du basalte pulvérisé, MM. Becker, Bleibtreu, Dœlter et Hussak ont reproduit plusieurs des phénomènes métamorphiques décrits plus haut.

La composition minéralogique des nodules à olivine et les phénomènes métamorphiques subis par eux étant établis, reste à examiner l'origine de ces roches.

Deux théories principales sont en présence[1] :

L. de Buch, Bischof, Gutberlet, MM. Daubrée, Sandberger considèrent ces nodules comme des fragments de

1. Je ne cite que pour mémoire l'hypothèse proposée par Delesse (*Etudes sur le métamorphisme des roches*. Paris, Dalmont et Dunod, 1858, p. 448) et d'après laquelle les nodules à olivine se seraient produits « par réaction mutuelle du basalte et de certaines roches qui se trouvaient à son contact ». L'étude du métamorphisme exercé par le basalte qui a été faite dans la 1re partie de mon travail ne permet pas, en effet, d'admettre une semblable théorie qui n'a, du reste, pas été développée par son auteur.

roches solides arrachées en profondeur, roches étrangères au basalte au même titre que les granites et les gneiss qui les accompagnent : pour eux ce sont des enclaves énallogènes de *lherzolite*. Cette théorie a été plus récemment défendue par M. A. Becker, dans le mémoire dont j'ai eu plusieurs fois l'occasion de parler.

Au contraire, Roth, MM. Laspeyres, Rosenbusch, Dœlter et Hussak voient, dans les nodules à olivine, des ségrégations effectuées en profondeur dans le magma basaltique.

La place que j'ai donnée dans mon mémoire aux nodules à olivine, en les étudiant avec les enclaves homœogènes, indique suffisamment que je n'admets pas l'indépendance des nodules à olivine et de la roche volcanique qui les englobe. Je les considère comme le résultat d'une différenciation effectuée en profondeur dans un magma plus basique que le basalte et ayant donné naissance à une roche solide en place, au dessous de laquelle se trouvait le magma non solidifié : plus tard, celui-ci s'est épanché sous forme de *basalte*, a disloquée sa croûte péridotique et en a modifié les fragments qu'il a amenés au jour.

La différence existant entre ce mode de formation et celui par *ségrégation* tel que je l'ai défini, consiste donc en ce que les ségrégations constituent des agrégats de grands cristaux flottant dans le magma, tandis que dans le cas des nodules à olivine, il y a eu formation d'une véritable roche solide par prise en masse d'une partie du magma basique déjà différencié. Dans l'un et l'autre cas, l'enclave et la roche volcanique proviennent donc d'un même magma initial. Cette façon d'interpréter les nodules à olivine le rapproche de celle de M. Bleibtreu.

Au point de vue minéralogique, la parenté des nodules à olivine et du basalte est évidente. L'enstatite, il est vrai, n'a été signalée que très rarement dans le basalte, mais

les phénomènes de corrosion subis par lui dans les nodules enclavés par cette roche montrent que les pyroxènes rhombiques sont rapidement attaqués par le magma basaltique normal fondu, en voie d'épanchement; il se produit, pour eux, un phénomène comparable à celui qui s'observe quand la hornblende se trouve soumise à des conditions différentes de celles qui ont présidé à sa consolidation. Dans un magma basique aussi calcique que le basalte, cristallisant par simple fusion ignée, la production d'un pyroxène rhombique paraît difficile. C'est ainsi qu'en fondant une des enclaves décrites page 137, formée d'enstatite et de bytownite, j'ai obtenu une roche microlitique ayant la composition d'une labradorite riche en microlites d'*augite*.

Il existe évidemment une différence de composition chimique entre le basalte et les nodules à olivine, mais cette différence est du même ordre que celles qui existent entre toutes les ségrégations bien caractérisées et le milieu qui les englobe.

Il faut reconnaître qu'aucune expérience directe ne permet de contrôler l'idée que l'on peut se faire d'une différenciation de ce genre, effectuée dans un magma basique pour donner naissance à une véritable roche, mais les expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy ont montré, d'une part, qu'en maintenant pendant longtemps, à une température suffisamment élevée, du basalte fondu, on déterminait une abondante cristallisation d'olivine; d'une autre, qu'un recuit suffisant d'un magma fondu, ayant la composition chimique d'une lherzolite, donnait naissance à une roche holocristalline dont la structure est bien voisine de celle des nodules à olivine. M. Daubrée avait antérieurement fondu des lherzolites et des nodules à olivine : les produits cristallisés qu'il a ainsi obtenus res-

semblent plus aux recristallisations observées dans les nodules à olivine modifiés, qu'aux lherzolites elles-mêmes ; cela tient au refroidissement qui a été plus rapide que dans les expériences plus récentes citées plus haut.

On peut donc se représenter un magma basique renfermant un excès de magnésie, maintenu pendant longtemps à une température suffisamment élevée pour permettre la différenciation dont il s'agit et la cristallisation des éléments magnésiens peu ferrifères et en même temps peu fusibles. L'association intime des péridotites aux gabbros, les passages fréquents entre ces deux catégories de roches et, d'autre part, les relations chimiques unissant les gabbros et les basaltes rendent probable l'hypothèse qui fait provenir les nodules à olivine et les basaltes d'un même magma originel.

L'absence de formes propres dans les éléments des nodules à olivine est une conséquence d'une cristallisation en bloc du magma différencié. L'exception, signalée par M. Max Bauer, de formes géométriques présentées par l'olivine et l'enstatite des nodules de Staufen, prouve que ces nodules ont cristallisé dans des conditions particulières : les deux minéraux cités s'étant formés alors que le diopside était encore fondu.

D'autre part, l'identité de structure des nodules à olivine et des lherzolites est une conséquence nécessaire de l'identité des conditions physiques dans lesquelles ces roches ont cristallisé en profondeur.

Quant aux inclusions liquides à bulle, il n'est pas étonnant, comme l'a fait remarquer M. Max Bauer, qu'elles existent en abondance dans une roche holocristalline, et qu'elles soient moins fréquentes[1] dans l'olivine des basaltes

1. Les inclusions liquides à bulle ont été décrites par M. Zirkel dans l'olivine des roches basaltoïdes de divers gisements (*Untersuch. über*

qui a cristallisé sous une pression moindre, alors que le magma était en partie privé de la vapeur d'eau et de gaz qu'il renferme en profondeur.

Les inclusions vitreuses ne prouvent rien au sujet de l'origine des minéraux qui les renferment, puisqu'elles sont secondaires. Il en est de même des phénomènes de corrosion des pyroxènes qui se produisent aussi bien aux dépens de cristaux indigènes dans la roche, qu'à ceux d'enclaves, quand les conditions dans lesquelles la roche s'est consolidée ne sont pas celles qui ont présidé à la cristallisation de ces minéraux.

J'ai fait remarquer plus haut la difficulté qui existe dans la distinction de certains nodules à olivine contenant de l'amphibole, de la biotite, etc., et de véritables nodules à hornblende pour lesquels il est impossible de ne pas admettre une formation par ségrégation. Ce fait vient encore à l'appui de la théorie que je soutiens.

Il me semble probable que la formation de ces ségrégations à hornblende, dans le magma basaltique, est plus récente que la différenciation qui a donné naissance aux nodules à olivine, eu égard à la fusibilité plus grande des minéraux qui les constituent. Tandis que les nodules à olivine ont dû former des masses solidifiées en profondeur, les nodules à hornblende, plus ferrugineux et plus fusibles, au contraire, se sont produits alors que la roche avait commencé son ascension dans les canaux souterrains : la matière vitreuse qu'ils renferment souvent est un témoin de l'interruption de leur cristallisation.

Les conditions intermédiaires entre ces deux conditions de cristallisation ont pu permettre la formation de produits intermédiaires entre les termes extrêmes.

die mikrosk. Zusammensetzung der Basaltgesteine, 1860, 60). Trippke a signalé des inclusions de CO^2 liquide dans l'olivine du basalte de Gröditzberg (*Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.*, XXX, 145, 1878).

Au point de vue physique, la formation d'une croûte dans la partie du magma basique appliqué contre les roches suprajacentes n'a rien d'invraisemblable, car ces roches, quelles qu'elles soient, y étaient à une température inférieure à celle de leur fusion. On comprend que du pyroxène puisse cristalliser, dans la croûte en question, en même temps que l'olivine, la composition du magma étant, du reste, favorable à la formation de ces deux minéraux. La structure des lherzolites des Pyrénées à leur contact avec les calcaires jurassiques étant la même que celle de la même roche au centre du massif, on ne doit pas s'étonner de voir la structure grenue se produire au contact d'une paroi souterraine.

Quant à la recrudescence calorifique, nécessaire pour la corrosion, elle est également probable au moment de l'éruption; des portions du magma, de provenance plus profonde et par conséquent douées d'une plus haute température, étant venues se mélanger avec la nappe superficielle. Cette explication répond à l'objection faite à la théorie que j'ai adoptée et à laquelle Becker reprochait d'être trop compliquée en nécessitant : 1° une cristallisation à une température relativement modérée, 2° une corrosion à une température plus élevée, 3° une cristallisation à une température plus basse (phénomènes de métamorphisme).

La corrosion des nodules a dû être d'autant plus forte que l'ouverture du sol s'est faite par une plus large fente, et que l'écoulement a été plus lent, car, dans ces conditions, l'action de la haute température s'est manifestée plus énergiquement ; c'est ce qui explique le fait signalé, par M. Sandberger[1], que les nodules à olivine se rencontrent surtout dans les filons de faible épaisseur, ou à la

1. *Sitzungsb. K. bayr. Akad. Wissensch.*, 1872, 172.

périphérie des massifs. La même explication s'applique à l'observation faite par M. Bleibtreu, que les nodules à olivine sont fréquents dans les basaltes compactes du Siebengebirge, qui se sont refroidis rapidement. Les nodules sont surtout abondants dans les projections, parce que le dégagement des gaz a amené la sortie rapide de la matière éruptive. Dans ces conditions, les nodules n'ont pas eu le temps d'être détruits par l'action de la chaleur durant leur trajet filonnien. C'est pour la même raison que dans les mêmes gisements les enclaves énallogènes sont souvent très abondantes.

Au contraire, on comprend très bien que si la lave est sortie en *grandes masses* et par de larges ouvertures, avec un écoulement de vitesse modérée, la matière qui la compose a dû provenir, au moins en partie, de régions profondes très chaudes : le refroidissement a dû s'opérer très lentement, et par suite, les nodules ont disparu plus ou moins complètement. On s'explique ainsi l'absence des nodules à olivine dans les basaltes ophitiques de l'Irlande et d'autres régions.

Du reste, indépendamment de ces considérations, l'absence de nodules à olivine dans beaucoup de basaltes ne saurait être considérée comme une objection grave à la théorie proposée, car la formation de péridotite aux dépens du magma basique, bien qu'étant un phénomène fréquent, ne doit pas être regardée comme un phénomène nécessaire : il est seulement lié à la richesse plus ou moins grande en magnésie du magma originel et aux conditions dans lesquelles celui-ci a été maintenu en profondeur antérieurement à l'épanchement basaltique.

M. Rosenbusch a fait remarquer, contre la théorie défendue par M. Becker, que, si l'on considère les nodules à olivine comme des enclaves énallogènes de lherzolite,

on devrait les rencontrer indistinctement dans toutes les roches volcaniques tertiaires des régions dans lesquelles les basaltes en renferment, ce qui n'a pas lieu.

M. Becker a répondu à cette objection que, si l'on ne rencontre pas de nodules à olivine dans les roches volcaniques acides, cela tient à ce que la température nécessaire à l'écoulement des roches volcaniques acides (trachytes, andésites) est forcément supérieure à celle qui est utile pour amener la destruction des nodules. Les expériences qu'il a faites lui ont, en effet, montré que ces nodules se détruisent dans le trachyte visqueux.

On peut toutefois objecter à cela, comme l'a fait M. Rosenbusch, que l'on ne rencontre pas davantage de nodules à olivine dans les téphrites, qui pourtant sont plus fusibles que le basalte, et qui, par suite, ne devraient pas fondre totalement les nodules à olivine.

Des péridotites ont été signalées, par Sandberger, en enclaves dans la *phonolite* d'Heldburg, près Hildburghausen (Saxe-Meiningen) ; ce fait tend à prouver que, dans des conditions données, ces nodules peuvent subsister dans un magma acide. D'autres considérations viennent démontrer cette possibilité.

Il ne faut pas, en effet, sur cette question, exagérer l'importance des expériences synthétiques effectuées en fondant des roches ou minéraux divers avec des roches volcaniques. Une expérience semblable n'a de valeur qu'autant qu'elle réalise les conditions qui ont présidé à la genèse des phénomènes qu'il s'agit de reproduire. Or, si les expériences de ce genre correspondent bien aux conditions naturelles tant que l'on opère sur des roches basiques de fusion purement ignée, il n'en est plus tout à fait de même lorsqu'on s'adresse à des roches acides. Les modifications effectuées par ces dernières sur les enclaves énallogènes

que j'ai étudiées plus haut ne sont point dues seulement à l'action de la chaleur, mais surtout à celle de minéralisateurs qui ont plus de prise sur des enclaves acides que sur des enclaves basiques; un gneiss ou un granite englobé par un trachyte est toujours transformé, un basalte placé dans les mêmes conditions ne l'est presque jamais.

Il résulte évidemment des expériences de M. Becker que si une péridotite était englobée par un magma trachytoïde au moment où celui-ci est parfaitement fluide, elle serait fondue et résorbée; mais l'observation que je viens de rappeler prouve, en outre, qu'il n'en serait plus de même si cette même roche était enclavée dans le même magma volcanique sous l'influence des conditions qui ont présidé à l'englobement de la plupart des enclaves énallogènes décrites plus haut (et il faut admettre l'identité de ces conditions si l'on considère ces péridotites comme des roches étrangères rencontrées par les roches volcaniques au moment de leur sortie); dans ces conditions, elles ne seraient pas détruites.

M. Max Bauer, bien que partisan de la théorie de la ségrégation, admet, pour le cas particulier des nodules d'Helburg, l'hypothèse d'une enclave de lherzolite. Il est bien évident qu'il n'y a pas de raisons pour que des lherzolites anciennes ne se trouvent pas accidentellement dans des roches volcaniques quelconques, à l'état d'enclaves énallogènes, n'ayant avec les nodules à olivine que des relations de composition et, par suite, ne permettant en rien de préjuger de l'origine de ces derniers : de même, une enclave de syénite ancienne dans un basalte ne nous apprend rien sur les sanidinites des trachytes.

M. Michel Lévy m'a proposé la théorie suivante pour expliquer les relations des nodules à olivine et du basalte. Pour lui, les nodules à olivine sont le résultat de la cristallisation totale d'un magma complet. La partie sous-

jacente restée liquide se serait plus tard acidifiée de façon à produire le balsate qui, au moment de l'éruption, aurait fondu et disloqué les péridotites antérieurement solidifiées, cette fusion de la roche solide étant du reste facilitée par le relèvement des isothermes, consécutif à l'éruption. Il base principalement son opinion sur les résultats des expériences synthétiques, essayées sur des magmas basaltiques qui, soumis à plusieurs temps de recuit, n'ont jamais donné de roches comparables aux péridotites.

La différence entre cette théorie et celle que j'ai énoncée plus haut consiste en ce que, dans mon hypothèse, le magma initial contenait à la fois les éléments du basalte et ceux des péridotites, et qu'il a produit ces dernières par différenciation, alors que, dans la théorie de mon savant maître et ami, c'est le magma resté fluide qui s'est postérieurement modifié par apport d'alcalis, d'alumine, etc. La démonstration rigoureuse de l'exactitude de l'un ou l'autre de ces modes de formation n'est pas possible. L'ensemble des faits consignés dans ce mémoire au sujet des enclaves basiques des roches volcaniques a déterminé mon choix.

On pourrait aussi, pour expliquer l'association constante des nodules à olivine et des basaltes se demander si les basaltes ne sont pas le résultat de la refusion de péridotites modifiées par action de contact. M. Daubrée a fait remarquer que, dans ses expériences, la péridotite a une grande tendance à se combiner à la silice des creusets pour former des pyroxènes : il en a conclu que si les péridotites sont relativement rares, c'est que leur magma fondu a pu se modifier par absorption de roches siliceuses et donner des roches plus acides. Depuis les expériences célèbres qui viennent d'être citées, de nombreux gisements de péridotites ont été découverts qui ont montré l'assez grande fréquence de ces roches, et si théoriquement de

semblables modifications endomorphes sont possibles, rien dans les gisements de péridotites connus ne vient pratiquement les confirmer. Partout où les péridotites sont en contact avec des roches acides, les contacts sont nets et dépourvus de zone de transition entre la roche traversée et la roche éruptive.

De plus, les modifications subies par les nodules plaident contre l'hypothèse de leur fusion pouvant donner naissance à des roches volcaniques. En effet, les phénomènes de fusion et de recristallisation qu'ils présentent sont le plus souvent presque exclusivement périphériques et se rencontrent dans les blocs anguleux englobés dans le basalte : ils sont généralement dus à une réaction du basalte sur l'enclave et paraissent indiquer que la roche qui les a subis a été brusquement, mais pendant peu de temps, portée à une haute température. Si, en effet, les nodules provenaient d'un amas rocheux en fusion, ces phénomènes de fusion devraient se rencontrer aussi bien dans les blocs pourvus d'une croûte basaltique ou englobés dans le basalte que dans ceux qui en sont dépourvus; ils devraient présenter des bords arrondis et passer insensiblement à la roche volcanique, ce qui n'a pas lieu.

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme*. Les *basaltes* du Puy-de-Dôme renferment fréquemment des nodules à olivine englobés dans les roches massives ou épars dans les produits de projection. Ils sont notamment abondants au Puy de Montaudou, au Puy de Boueix, au Puy de Cordeloup, au plateau de Rentières à Ardes, à Cheix, près Besse, etc. Il suffira d'étudier ici ceux qui présentent quelques particularités spéciales.

Puy de Montaudou. — Les *basaltes* du Puy de Montaudou, près Royat, englobent en assez grande abondance de

petits nodules à olivine, anguleux ou arrondis, dont la plus grande dimension dépasse rarement 3 ou 4 centimètres. De même que le basalte tachylitique qui les englobe, ils sont généralement très fortement calcifiés, ce qui rend leur étude difficile.

Ces nodules sont de couleur jaune verdâtre très pâle. Deux variétés s'y distinguent suivant que l'olivine y est associée au pyroxène seul ou à l'enstatite et au pyroxène. La picotite brune est peu abondante. Les minéraux silicatés sont riches en inclusions liquides à bulle mobile.

L'olivine forme de grands cristaux avec clivages nets, dans lesquels se glisse la calcite qui épigénise souvent complètement le minéral. Ces pseudomorphoses présentent une apparence fibreuse.

Ces nodules sont presque constamment modifiés par l'action du basalte, sans doute à cause de la petite dimension des fragments enclavés. Dans les variétés dépourvues d'enstatite, on voit le pyroxène commencer à fondre, se creuser de cavités remplies par du verre ; il ressemble alors à une écumoire. Il recristallise soit sous la forme de grains, soit sous celle de cristaux à formes nettes, englobant de petits octaèdres de spinelle de nouvelle formation. Dans d'autres cas, il forme des baguettes à formes distinctes p (001), h^1 (100), g^1 (010), m (110), $b^{1}/_{2}$ ($\bar{1}11$) distribuées en grand nombre suivant une même orientation, et noyées dans du verre brunâtre; ces baguettes simulent le squelette d'un grand cristal (Pl. VIII, fig. 4 et 6) et sont parfois accompagnées de microlites ou de grains d'olivine néogène.

Quand l'enclave renferme de l'enstatite, la fusion atteint aussi ce minéral, il se fend, et dans toutes ses fissures se produit du pyroxène monoclinique. Des assemblages réguliers de cette dernière substance viennent se former autour de l'enstatite, l'entourent, s'orientent cristallogra-

phiquement sur elle, suivant la loi habituelle du groupement des deux minéraux. Lorsque la transformation est poussée un peu plus loin, l'enclave offre une structure curieuse. L'olivine seule intacte et les restes de l'enstatite sont englobés dans un feutrage de baguettes d'augite séparées par un peu de verre ferrugineux calcifié. Au contact avec le basalte, les squelettes formés par l'assemblage de ces cristaux d'augite se ferment, donnant un pointement cristallin dont le sommet est engagé dans le basalte. Ce pointement prend la teinte violacée de l'augite de la roche volcanique. Enfin si la fusion est poussée plus loin, l'olivine fond elle-même et recristallise en se chargeant d'inclusions de spinelle.

Aux éléments primordiaux qui ont été énumérés plus haut, vient parfois se joindre une hornblende brune analogue à celle qui sera étudiée plus loin dans les nodules de Tareyre. La roche ainsi constituée passe aux nodules à hornblende.

Enfin, la fig. 8 de la Pl. VIII représente une enclave de Montaudou constituée par de l'augite et de l'olivine en grands cristaux automorphes, moulés par du verre contenant des microlites d'augite, d'ilménite et un peu de feldspath triclinique. Cette roche me semble être le résultat de la recristallisation d'une enclave de péridotite entièrement fondue. Elle serait analogue à celle du Puy de Cordeloup décrite ci-après.

Indépendamment de la calcite secondaire, on observe, en grande quantité, de la christianite dans toutes les enclaves de Montaudou.

Puy de Cordeloup. — J'ai étudié une enclave du Puy de Cordeloup, se séparant très nettement des nodules à olivine ordinaires, bien que sa composition minéralogique soit assez semblable. Elle est en effet constituée principa-

lement par du pyroxène et de l'olivine. L'un et l'autre sont automorphes, l'olivine, un peu cristallitique, est allongée suivant h^1 g^1 (100) (010); le pyroxène est de l'augite violacée offrant les macles suivant h^1 (100). Il est en partie postérieur à l'olivine.

Ces deux minéraux sont cimentés par du verre très riche en microlites d'anorthite, en microlites d'olivine, ayant le même allongement que les grands cristaux, enfin par de l'augite en microlites également automorphes, formant le squelette d'un grand cristal, en se mélangeant à des lamelles d'ilménite (Pl. VIII, fig. 2). L'augite a continué à s'accroître pendant la formation des microlites de feldspath et d'olivine, car elle les englobe parfois à sa périphérie.

On peut se demander, comme pour l'une des enclaves de Montaudou, si cette roche n'est pas une ségrégation récente du magma basaltique; je ne le crois pas, l'analogie des minéraux ainsi formés avec ceux qui se développent par modification des enclaves de péridotite me fait penser plutôt qu'elle est le produit de la recristallisation d'un nodule à olivine, entièrement fondu et pénétré par le verre basaltique.

Cantal. — Les nodules à olivine sont aussi très fréquents dans le Cantal. On peut citer à cet égard le bois de la Pinatelle, Chalinargues près Murat, Auliac près Laurie, les environs de Blesle, le Puy de Cuzol à Montron, etc.

Ces nodules ont la composition normale. Je n'ai observé de modifications que dans ceux de Montron qui sont englobés dans un basalte en coulée ; elles se bornent à la fusion et à la recristallisation du pyroxène. Au contact de l'enclave, le basalte se charge d'une grande quantité de petits octaèdres de spinelle brun, formés évidemment aux dépens de l'enclave.

Haute-Loire. — Les *basaltes* massifs et particulièrement les *tufs* de projections basaltiques du Velay sont souvent très riches en nodules à olivine. Ils sont parfois d'une taille énorme.

Le gisement de Tareyre, par exemple, en renferme une quantité innombrable. On peut citer encore à ce point de vue les tufs du Coupet, de Cheyrac, de Beyssac, de Taulhac du Croustet près le Puy[1], du volcan de Briançon, de Mont-de-Bar, près Allègre, etc. Je me contenterai de décrire les échantillons de Langeac et de Tareyre qui sont bien caractéristiques et qui présentent des modifications intéressantes.

Langeac. — Les *basaltes* en coulée de Langeac renferment des nodules à olivine, parfois très intéressants à cause des modifications intenses dont ils ont été le siège.

Ils possèdent la composition habituelle (olivine, pyroxène, enstatite et picotite, ces deux derniers minéraux sont très abondants).

Au contact des enclaves et du basalte, on voit l'enstatite se transformer en pyroxène monoclinique; les bords, les cassures de l'enstatite se couvrent de petites plages à aspect mamelonné et vermiculé de pyroxène; celui-ci gagne de proche en proche, pousse des prolongements dans l'enstatite qu'il épigénise parfois complètement. A Langeac, l'enstatite est presque entièrement transformée en pyroxène vermiculé, et l'on a un produit offrant l'apparence bien connue de la kelyphite. J'ai observé des faits semblables dans des cristaux d'hypersthène des andésites de Santorin. Dans ce gisement, souvent l'hypersthène est seulement vermiculé sur ses bords, le produit de la fusion

1. Il est intéressant de faire remarquer que les nodules à olivine, très abondants dans les tufs des environs du Puy, manquent dans les tufs de la Denise, si riches en enclaves enallogènes décrites page 87.

restant à l'état de verre au lieu de se dévitrifier sous forme de pyroxène.

Les grandes plages de pyroxène fondent également avant d'être complètement transformées; elles se chargent de larges inclusions vitreuses qui donnent au minéral un aspect très caractéristique.

Dans les enclaves de Langeac, on observe des nodules atteignant parfois 2 ou 3 millimètres dans lesquels la transformation est plus complète. Les pyroxènes monocliniques et rhombiques sont fondus. Il se produit alors une nouvelle génération d'olivine et de pyroxène monoclinique grenus, présentant parfois des formes cristallines très nettes; ces produits recristallisés sont disséminés dans un verre brunâtre plus ou moins abondant au milieu duquel se développent de très nombreux microlites d'anorthite, des cristallites et des microlites d'augite. Les parties feldspathiques se produisent souvent autour des grains de picotite. Ceux-ci sont alors corrodés, parfois noircis sur les bords, recouverts de petits octaèdres bruns de la même substance. Ces octaèdres récents de spinelle forment des agrégats en buisson, et se trouvent en grand nombre à l'état d'inclusions dans le pyroxène et l'olivine récents, alors qu'ils manquent totalement dans les éléments primordiaux de la péridotite (Pl. VIII, fig. 7).

De grandes variations existent dans la structure de ces nodules feldspathiques recristallisés; tantôt le verre est abondant et tantôt il est rare, tantôt la roche est à fins éléments et tantôt, au contraire, elle est à gros grains, elle est toujours riche en bisilicate et ressemble toujours plus aux roches reproduites synthétiquement qu'à de véritables basaltes.

On peut se demander quel a été le mécanisme de la formation de ces nodules feldspathiques. On ne voit pas de

communication entre eux et le magma basaltique qui entoure l'enclave. Ils semblent s'être produits *in situ*; la corrosion du spinelle ancien et son existence constante dans ces nodules recristallisés permet peut-être de penser que c'est lui qui a fourni au magma provenant de la fusion du pyroxène, l'alumine nécessaire à la production de l'anorthite. La magnésie mise ainsi en liberté a rendu le verre plus basique et plus magnésien, et permis ainsi la production abondante de l'olivine. Le spinelle non décomposé se dépose en même temps sous forme de petits octaèdres.

Cependant dans plusieurs nodules à olivine j'ai constaté une pénétration du basalte Il s'enrichit en olivine grenue, fournie certainement par l'enclave.

Tareyre. — Le volcan de Tareyre, près le Puy, constitué par des amas de scories basaltiques (exploitées en carrière), renferme un nombre considérable de bombes à olivine soit isolées, soit entourées par une gaîne basaltique; elles atteignent parfois plusieurs décimètres de plus grande dimension et sont accompagnées de fragments brisés de hornblende, de morceaux de granite et de leptynite grenatifère, décrits plus haut.

Le type le plus habituel est constitué par de grandes plages d'olivine, d'enstatite et diopside, moulés par de la picotite brune ou jaune rouge en lames minces. Les groupements de pyroxène et d'enstatite, suivant la loi ordinaire, ne sont pas rares. Ce sont tantôt de grands cristaux d'enstatite renfermant de fines bandelettes de pyroxène monoclinique, tantôt des plages de diopside contenant des cristaux allongés d'enstatite.

Plus rarement, on voit apparaître la hornblende basaltique brune, formant de très grands cristaux qui moulent tous les autres éléments de la roche; l'olivine est alors

souvent peu abondante et très ferrugineuse. Cette amphibole présente une extinction de 12° environ dans g^1 (010). Son pléochroïsme est très intense avec :

$\mathbf{n_g}$ = jaune d'or foncé
$\mathbf{n_m}$ = jaune d'or
$\mathbf{n_p}$ = jaune pâle

Parfois une petite quantité d'amphibole, englobée par le pyroxène, se trouve au milieu de lui en bandelettes comme cela a lieu dans beaucoup de gabbros.

Tous les éléments de la roche sont riches en inclusions liquides à bulle mobile.

Très fréquemment, l'olivine est rubéfiée. Dans ses clivages, se développent de petites lamelles translucides d'hématite pléochroïques dans les teintes rouge et jaune d'or. Elles forment de fines et élégantes dentelles au milieu des cristaux qui peu à peu sont envahis par ce minéral ferrugineux ; les propriétés optiques du minéral initial finissent même par être complètement cachées.

Les modifications métamorphiques subies par les péridotites de ce gisement sont rares. Dans un échantillon, j'ai observé sur les bords de l'enstatite le développement d'un minéral incolore ayant la réfringence du pyroxène, une biréfringence d'environ 0.016; il est orthorhombique et négatif en long : les teintes de polarisation indiquent un minéral assez dispersif dans le genre des minéraux du groupe *épidote-zoïsite*. La petitesse des cristaux ne m'a pas permis de faire d'autres constatations, ni de le déterminer. Il est en général implanté sur l'enstatite, de façon que l'axe vertical des deux substances coïncide, parfois il occupe une position quelconque par rapport à ce minéral.

Assez souvent, on voit au milieu des péridotites des cristaux automorphes de pyroxène et d'olivine, ils doivent

être considérés comme de nouvelle formation; ils sont toujours entourés d'un peu de verre et sont surtout fréquents au voisinage du spinelle.

Enfin, un échantillon m'a présenté des modifications plus profondes; le pyroxène est en voie de fusion, il est criblé de trous; le spinelle est corrodé et couvert de petits octaèdres recristallisés du même minéral; de grandes plages d'anorthite se développent autour de l'olivine et du pyroxène de nouvelle génération. Les octaèdres de spinelle sont abondants dans tous les minéraux récents (Pl. VIII, fig. 11).

Ces modifications ne diffèrent de celles décrites plus haut dans les nodules de Langeac, qu'en ce qu'il n'existe pas de résidu vitreux et que l'anorthite forme de grandes plages au lieu de se présenter sous forme de microlites.

Ardèche. — Les nodules à olivine du massif des Coirons sont assez abondants; ils ne présentent pas de particularités spéciales. Ils sont souvent profondément rubéfiés. Faujas de Saint-Fond, qui a beaucoup étudié les produits volcaniques du Vivarais, a donné[1] une longue énumération des variétés de nodules à olivine qu'il a recueillies à Rochemaure, Rochesauve, Maillas, Saint-Jean le Noir, Montbrul, la Bastide près Entraigues, le château de Granoux près Chomérac, la grotte des Pères du désert près Cruas, les bords de l'Ollière près de Colombier. Il avait, dès cette époque, remarqué que la couleur rouge était due à une oxydation du fer du péridot.

Les modifications habituelles sont parfois intenses dans les nodules englobés dans le basalte (Rochemaure).

Hérault. — Les nodules à olivine des tufs basaltiques de Montferrier, près Montpellier, et ceux des environs d'Agde sont très rubéfiés.

1. *Système minéralogique des volcans*, Paris, 1809, 154-151.

Morvan. — Le petit pointement de *basalte* limburgitique du Drevin, près Couches (Saône-et-Loire), renferme des enclaves de nodules à olivine à composition normale assez profondément modifiés suivant le mode habituel. Ils sont remarquables par la régularité des assemblages chrondritiques d'augite qui prennent naissance par suite de la recristallisation des bisilicates fondus. Ils sont parfois mélangés de grains de magnétite ou de spinelle brun, affectant la forme en larmes du quartz de corrosion.

Dans quelques cas, les assemblages chondritiques sont constitués par deux ou un plus grand nombre de séries de baguettes ayant l'axe vertical commun, mais possédant cependant une orientation optique différente. Quand on éteint une des séries, on voit apparaître l'autre. Peut-être sont-elles maclées entre elles suivant h^1 (100) ; je n'ai pu le vérifier avec certitude. Il arrive assez rarement que l'orientation optique d'une de ces séries de cristaux néogènes soit influencée par une plage voisine de pyroxène ancien.

Gisements allemands. — Les divers gisements basaltiques des régions allemandes, qui ont été étudiés au cours de ce mémoire, sont plus ou moins riches en nodules à olivine. Ce sont ces gisements qui ont fourni, aux auteurs cités plus haut, la plus grande partie de leurs matériaux d'étude. En raison de l'uniformité de composition de ces roches, il me paraît inutile de m'étendre beaucoup sur elles ; je me contenterai de m'occuper de quelques-unes de celles que j'ai eu l'occasion d'examiner, ou qui présentent quelques particularités intéressantes.

Siebengebirge. — M. Bleibtreu a étudié[1] spécialement les nodules du Finkenberg, et je dois à son obligeance plusieurs échantillons de ce gisement.

1. *N. Jahrb.*, 1881, II, 182.

On y distingue deux catégories de nodules :

La première, que j'ai seule étudiée, est formée par des roches ayant la composition normale des nodules à olivine, l'enstatite et le diopside pouvant être plus ou moins abondants.

La seconde est constituée par des échantillons de composition très variable. L'un d'eux est formé de pyroxène et d'apatite, un autre contient, en outre, de l'olivine ; un troisième est formé par de l'augite et de l'apatite. Ces nodules sont parfois schisteux comme d'autres qui renferment du mica : ces derniers sont généralement pauvres en enstatite.

M. Bleibtreu a décrit une enclave schistoïde formée de deux parties séparées par une ligne nette : d'un côté, la roche est riche en olivine, de l'autre, ce minéral manque et la roche est constituée uniquement par du mica et du diopside. Un autre échantillon est formé de diopside, de spinelle verdâtre et de fort peu d'enstatite. Le diopside est riche en inclusions liquides.

Enfin, une dernière enclave contient des cristaux de bronzite d'un vert noir, du diopside chromifère, de la picotite et un peu de feldspath triclinique. L'enstatite (maclée avec du pyroxène monoclinique) est brisée et ses fragments sont ressoudés par de la picotite.

Ce dernier échantillon paraît ressembler aux parties recristallisées des nodules de Tareyre, représentées par la fig. 11 de la Pl VIII.

Quant aux autres nodules dépourvus de péridot, on peut se demander s'ils dépendent réellement des nodules à olivine ou s'ils ne doivent pas plutôt être rattachés aux nodules à hornblende ; cette incertitude montre, dans tous les cas, combien sont intimes les relations existant entre ces deux catégories d'enclaves homœogènes.

M. Bleibtreu s'est beaucoup préoccupé des modifications métamorphiques subies par les nodules à olivine après leur englobement par le basalte : il les regarde comme effectuées par le magma relativement acide, resté fluide après la séparation des éléments ferrugineux. Le verre qui, dans ses échantillons, injecte les fissures des nodules, est en effet peu coloré et surtout chargé de feldspath. Quelques échantillons sont tellement envahis par la matière feldspathique que l'on n'y distingue plus que quelques grains d'olivine noyés dans un agrégat de cristaux de feldspath triclinique. Au Finkenberg, à Unkel, etc., le même auteur a trouvé des nodules à olivine passant graduellement à des agrégats feldspathiques qui pourraient être pris pour des diabases ou gabbros à olivine, si l'on n'avait sous les yeux tous les termes de passage. Quelques-uns d'entre eux sont en outre très riches en mica secondaire. Je n'ai pu observer personnellement aucun de ces nodules feldspathiques.

Les phénomènes de corrosion, de fusion, puis de recristallisation du pyroxène, et de l'olivine, sont identiques à ceux qui ont été signalés plus haut dans les gisements français. M. Bleibtreu a constaté que les traînées d'inclusions vitreuses suivaient parfois dans l'olivine celles des inclusions liquides.

Hesse. — M. Max Bauer a récemment étudié, en grand détail [1], les nodules à olivine de Stempel, près Marburg, qui présentent des particularités spéciales. Ils renferment deux sortes de pyroxène rhombique, une bronzite vert brunâtre et une autre bronzite d'un vert olivâtre, dépourvue de clivages. Les autres éléments sont ceux que l'on rencontre normalement dans les nodules à olivine des autres gise-

1. *N. Jahrb.*, 1891, II, 182.

ments. L'olivine est riche en inclusions liquides à bulle immobile; on y trouve aussi des inclusions vitreuses, fréquentes même loin du contact du basalte. Toutes ces inclusions se rencontrent aussi dans la bronzite, mais elles y sont moins fréquentes que dans l'olivine. Les inclusions liquides sont peu abondantes dans le diopside. Rarement, M. Bauer a observé des formes géométriques dans l'olivine et la bronzite.

Dans le *basalte* de Stauffenberg, près Lollar, entre Marburg et Giessen, le même auteur a signalé des nodules à olivine, pauvres en picotite et en diopside chromifère, ce dernier est remplacé par une augite brune. Ces roches, de couleur plus claire que de coutume, ont un aspect porphyroïde. L'augite brune est parfois zonée, ayant un centre de couleur claire qui peut être considéré comme du diopside chromifère. Cette augite se distingue de celle du basalte par l'abondance des inclusions liquides qu'elle renferme.

Les nodules à olivine de Stempel présentent les phénomènes de corrosion habituels.

Bohême. — Le *basalte* de Kosakow renferme des nodules à olivine assez profondément modifiés suivant le mode habituel.

L'échantillon que j'ai étudié offre la composition normale. Les transformations périphériques de l'enstatite en augite sont très intenses; une partie de l'enclave a été presque complètement fondue et ses débris ont été entraînés dans le basalte dans lequel on observe çà et là des fragments d'olivine à contours irréguliers, et des morceaux d'enstatite en voie de transformation augitique.

J'ai observé, dans le basalte à proximité de l'enclave, un grand cristal constitué par l'enchevêtrement de baguettes d'augite distribuées en séries, possédant trois ou quatre orientations différentes; elles proviennent, selon toute

vraisemblance, de l'épigénie d'un fragment d'enstatite; ce cristal est entouré de lamelles de biotite.

Vicentin. — J'ai eu l'occasion d'étudier des nodules à olivine, recueillis par M. Munier Chalmas, dans le *basalte* de Crespadoro. Ils présentent les modifications habituelles. Ils sont remarquables par l'intensité de la corrosion du diopside et de l'enstatite. Ce dernier minéral est, en effet, fondu non seulement sur les bords, mais encore suivant de nombreuses cassures curvilignes. Les recristallisations d'augite (avec un peu d'olivine) sont très abondantes. Ces minéraux sont en général grenus, noyés soit dans du verre, soit dans du feldspath triclinique; les octaèdres de picotite recristallisée sont abondants.

Ces nodules à olivine sont souvent très décomposés; l'olivine est alors transformée en produits serpentineux.

Australie. — *Victoria.* — J'ai examiné un beau nodule à olivine empâté dans un *basalte limburgitique* de North Garden Gully Reef, Sandhurst. Il est en grande partie constitué par de l'olivine, accompagnée d'un peu de picotite, d'enstatite et de beaucoup de pyroxène. Celui-ci rappelle le pyroxène décrit à Montaudou; il se présente soit en grandes plages dentelliformes, soit en agrégats de petits cristaux à orientation unique, qui sont alors séparés par de la matière vitreuse et accompagnés de minéraux ferrugineux. L'enclave, tout comme le basalte, est fortement chargée de carbonates rhomboédriques qui épigénisent plus particulièrement l'olivine.

Réunion. — Les nodules à olivine de la Réunion que m'a communiqués M. Vélain offrent souvent, à leur contact avec le basalte, une zone modifiée dans laquelle les recristallisations habituelles sont fort développées. L'olivine est très serpentinisée.

Ile de Pâques. — M. Vélain a signalé[1], dans les *tufs basaltiques* de cette île, un nodule à olivine renfermant un minéral *secondaire*, en prismes hexagonaux, rapporté à la néphéline (?).

II. Roches basaltoïdes feldspathiques avec néphéline ou leucite.

(TÉPHRITES ET LEUCOTÉPHRITES)

1° *Enclaves feldspathiques.*

Résumé et conclusions. — Les considérations que j'ai développées au sujet des basaltes s'appliquent *a fortiori* aux *téphrites* qui, comme eux, sont des roches de fusion ignée et, en outre, sont plus fusibles. On s'explique dès lors la rareté relative de leurs enclaves grenues.

Dans les quelques gisements où elles existent, elles ont la composition minéralogique et la structure des *teschénites*. Elles sont holocristallines à grands éléments et contiennent de l'apatite, du sphène, de l'olivine, du feldspath triclinique, de la biotite, de la hornblende brune, de la néphéline et un minéral dodécaédrique du groupe sodalite-haüyne. Ces minéraux sont, on le voit, ceux qui existent normalement dans la téphrite englobante, toutefois le minéral dodécaédrique est généralement plus abondant que dans cette dernière ; il en est de même de la biotite et de la hornblende. Ce fait s'explique aisément puisque, comme j'ai eu l'occasion de le rappeler plusieurs fois déjà, ces minéraux semblent exiger pour leur formation en grand dans un *magma fondu*, à la fois des con-

1. *Bull. Soc. géol.*, 3ᵉ série, VII, 415, 1879.

ditions de pression et l'existence de minéralisateurs qui n'existent réunis qu'en profondeur[1].

Dans les tufs de la Somma et dans quelques bombes de *leucotéphrites* du même gisement, j'ai recueilli des roches remarquables dans lesquelles on observe les éléments des *teschénites* qui viennent d'être décrites, accompagnés et moulés par un mélange de sodalite et de grandes plages d'orthose (fig. 33), avec, plus rarement, de la leucite (fig. 34). La proportion de ces minéraux, riches en alcalis, peut devenir prédominante et les roches en question passent alors aux *sanidinites* qui ont été décrites page 455.

Jusqu'à ce jour, à part la syénite à leucite que j'ai décrite page 458, on ne connaissait la leucite intacte que dans des roches volcaniques d'épanchement. La rareté de ce minéral dans les roches grenues, rapportées des profondeurs par les antiques éruptions de la Somma, est donc assez bien d'accord avec les observations faites par les géologues sur les roches granitoïdes en place.

Une ancienne expérience de MM. Fouqué et Michel Lévy[2], à laquelle il semble que l'on n'ait pas attaché toute l'importance qu'elle a réellement, permet d'expliquer pourquoi les enclaves grenues des leucotéphrites de la Somma ont une composition *minéralogique* si différente de celle de la roche volcanique avec laquelle elles sont en relation.

Mes savants maîtres, en fondant un mélange de 4 parties de microcline et de 4,8 de biotite et en soumettant le verre résultant de cette fusion à un recuit prolongé, ont obtenu

1. Je dis dans un *magma fondu* car ces divers minéraux, sodalite, hornblende, mica, etc., se forment parfois par sublimation, grâce à l'action des minéralisateurs dans les cavités des roches en voie d'épanchement (laves du Vésuve de l'éruption de 1872, etc. Voir, à ce sujet, la note de la page 131).

2. *Synthèse des minéraux et des roches*, 1882, 77.

une *leucitite à olivine*. Partis d'un mélange réalisé dans la nature par les *minettes*, roches intrusives ou filoniennes, ils ont obtenu une roche appartenant à l'un des types les mieux caractérisés des roches d'épanchement. Ce fait montre de la façon la plus nette qu'un même magma peut donner des roches minéralogiquement très différentes suivant qu'il cristallise par fusion purement ignée, en s'épanchant à la surface du sol ou qu'il se consolide plus ou moins en profondeur et par suite en présence de minéralisateurs sous pression.

On comprend dès lors qu'un magma riche en alcalis, comme celui qui a produit les roches de la Somma, ait pu par sa cristallisation en profondeur donner des *teschénites à orthose*.

La richesse très grande en orthose de quelques échantillons et les passages de ceux-ci à de véritables sanidinites à sodalite peuvent s'expliquer par la coexistence dans les tufs de la Somma de roches d'acidité très différente, oscillant entre des trachytes sodiques et des leucotéphrites basiques ; chacun de ces types pétrographiques ayant pu avoir ses produits grenus distincts.

Les phénomènes de métamorphisme intenses, exercés en profondeur par les roches à leucite de la Somma et auxquels j'ai consacré plus haut une longue discussion, montrent que ces roches ont bien été réellement accompagnées en profondeur par d'énergiques minéralisateurs dont l'action s'est parfois même exercée au cours des éruptions récentes du Vésuve (1631, 1872).

L'existence de la leucite dans plusieurs de ces enclaves de teschénites fait voir que la formation de ce minéral en profondeur bien que peu fréquente, n'est pas impossible. Le peu de stabilité de la leucite en présence des substances volatiles est bien mis en évidence par la transfor-

mation en orthose, néphéline et sodalite de la leucite de certaines bombes de la Somma, qui ont été antérieurement décrites et par celle des fragments de leucotéphrite enclavés dans la lave du Vésuve (éruption de 1872).

A côté de ces roches spéciales se trouvent aussi à la Somma et dans le massif de Roccamonfina de véritables ségrégations basiques, riches en olivine, augite, feldspath triclinique basique, leucite et rarement en biotite; elles renferment parfois de la matière vitreuse se chargeant de microlites feldspathiques : elles passent alors insensiblement à la leucotéphrite englobante.

α. Téphrites.

Kaiserstuhl. — Dans l'excursion que j'ai faite dans le Kaiserstuhl, en compagnie de M. Graeff, j'ai recueilli plusieurs enclaves grenues dans la *téphrite* que l'on rencontre à la sortie d'Oberbergen. Elles sont holocristallines : leurs éléments sont formés par de l'apatite, du sphène, de l'augite violacée automorphe, de la biotite et de la hornblende : ces deux minéraux, postérieurs à l'augite, sont localement ophitiques par rapport à du labrador qui est assez abondant. Ce dernier minéral est moulé par de la *néphéline* et de l'*orthose.* La néphéline est assez altérée et probablement accompagnée par un minéral du groupe sodalite-noséane également décomposé.

Un autre échantillon, dont les éléments blancs sont aussi très altérés, renferme de l'olivine transformée en produits ferrugineux.

Ces enclaves peuvent être considérées comme de véritables *teschénites*, représentant la forme grenue holocristalline de la téphrite qui les englobe[1].

1. Pendant l'impression de ce mémoire, M. Graeff a publié (*Bericht. über die XXVI. Versamml. d. Oberrhein. geol. Vereins,* 1893) une note

Canaries. — Dans la collection du Collège de France, j'ai rencontré plusieurs échantillons accompagnant des *téphrites* et *néphélinites riches en mélilite*, provenant des Canaries (Palma). Elles possèdent une composition minéralogique semblable à celle des enclaves du Kaiserstuhl qui viennent d'être décrites et ont vraisemblablement une même origine. Elles paraissent assez analogues aux roches que MM. V. Fritsch et Reiss ont trouvées en blocs[1] dans les tufs du cratère de Pico Viejo et au volcan de Teyde dans l'île de Ténériffe. Ces savants ont rencontré en place une roche du même genre à Cumbre (Canaria).

Ils ont cité, en outre, dans les tufs du Pico de los Machachos (Ile Palma) une bombe holocristalline formée d'augite, d'haüyne, de magnétite, de feldspath et de mica brun. Ils regardent cette roche comme le résultat d'une cristallisation profonde effectuée au sein d'une *téphrite à haüyne*.

Iles du Cap Vert. — Les mêmes auteurs ont signalé[2] une enclave analogue dans un filon de *téphrite* de Ribeira do Antonio (Ile de San Thiago).

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme.* Je citerai ici, comme document, un échantillon provenant du ravin de Lusclade au Mont-Dore, et au sujet de l'origine duquel je ne puis fournir aucune donnée précise. Cet échantillon, en effet, a été recueilli dans le ruisseau et n'est enveloppé d'aucune roche volcanique. Il offre l'as-

sur un échantillon de la collection de l'Université de Freiburg, indiqué comme provenant de Horberig, par Oberbergen : cette roche parait identique à celle que je viens de décrire. M. Graeff la considère également comme une *teschénite*, et suppose qu'elle constitue une enclave d'une roche téphritique. Mon observation vient apporter une confirmation à cette manière de voir.

1. *Geol. Beschreib. d. Insel Tenerife*, 1863, 277 et 400.
2. *Op. cit.*, 400 (en note).

pect extérieur d'une diabase, sa composition minéralogique ne permet de l'assimiler à aucune roche connue en place dans la région; il constitue certainement une enclave d'une roche volcanique.

Au microscope, on constate que cette roche est riche en grands cristaux d'augite violacée, d'olivine, de magnétite, d'apatite, et de mica qui entoure la magnétite ou est fixée sur les autres minéraux. Tous ces éléments sont accompagnés de beaucoup de labrador en cristaux aplatis suivant g^1 (010), qui se présentent dans les lames minces sous forme de longues baguettes maclées suivant la loi de l'albite ou de larges plages parallèles à la face d'aplatissement. Ce feldspath a des bords frangés plus acides, qui englobent des cristaux de *néphéline* et d'un minéral dodécaédrique du groupe *sodalite-noséane*. Ces deux substances donnent un intérêt très grand à cette roche; on voit très nettement que leur cristallisation date de la fin de la consolidation du feldspath. Par places, cette dernière s'est effectuée sous forme de gros microlites enchevêtrés et moulés par la néphéline et la sodalite.

Localement, les grands cristaux de pyroxène englobent sur leurs bords des cristaux de feldspath; ils produisent ainsi la structure ophitique. Une semblable particularité a été signalée par M. Michel Lévy [1] dans le *basalte feldspathique* (basalte demi-deuil) de la Banne d'Ordenche qui domine le ravin de Lusclade.

Cette roche offre l'analogie la plus grande avec les *teschénites à olivine* que j'ai décrites aux environs de Montréal (Canada) et qui sont associées à des syénites néphéliniques.

La roche qui nous occupe est-elle en relation avec le

1. Voy. Michel Lévy. *Bull. Soc. géol.*, 1890, *op. cit.*

basalte feldspathique, ou bien plutôt avec les *andésites à haüyne*, voisines des *téphrites* que M. Michel Lévy a décrites dans le même gisement? C'est là une question que l'étude plus approfondie de ces deux intéressantes roches pourra seule trancher. En attendant, c'est par analogie avec les enclaves du même genre de la Somma, que j'ai signalé ici cette roche.

Bohème. — Je dois à l'obligeance de M. Cléments communication de plusieurs préparations d'enclaves provenant de roches à néphéline des monts Duppau (nord de la Bohême) qu'il a décrites récemment[1].

Langgrün près Buchau. — Une de ces enclaves est englobée dans une roche qui, autant que j'en puis juger par les fragments très altérés que j'ai examinés, paraît être une téphrite. Elle est constituée par de l'andésine et de grands cristaux de hornblende brune se transformant à la périphérie en cristaux nets d'augite et de magnétite. Il existe, en outre, de l'apatite et du sphène. Cette enclave est imprégnée par la roche volcanique ; par places, il existe des produits de décomposition (calcite, zéolites) qui occupent vraisemblablement la place de matière vitreuse. Localement, la présence de celle-ci est signalée par de petits microlites feldspathiques dont les formes rectangulaires nettes contrastent avec l'irrégularité des microlites de la roche volcanique

M. Cléments m'a communiqué un échantillon de composition très analogue à celle de la roche de la Banne d'Ordenche (apatite, pyroxène violacé automorphe, sphène moulant le pyroxène, hornblende, biotite, labrador, néphéline, sodalite et magnétite) et qui a, sans doute, une même origine : il n'a pas été recueilli en place.

1. *Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt*, XL, 347, 1890.

β. Leucotéphrites.

Somma. — J'ai trouvé en assez grande abondance, dans les tufs de la Somma, des roches grenues fort curieuses qui n'ont pas, à ma connaissance, été décrites jusqu'à ce jour. Elles présentent un intérêt considérable. Je les ai rencontrées dans tous les points de la Somma que j'ai visités. Mes échantillons ont été recueillis soit en blocs épars

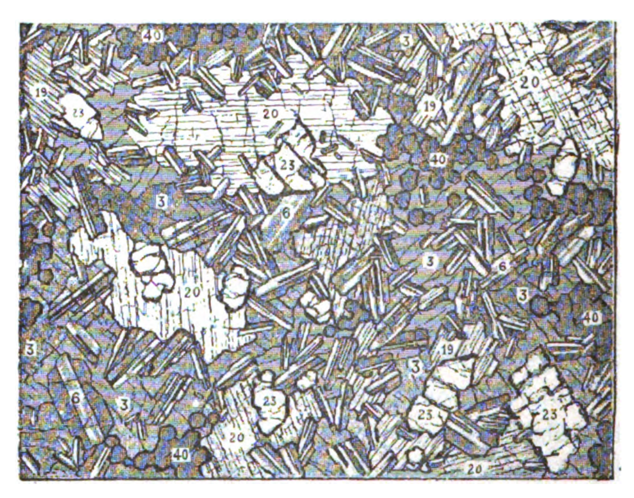


Fig. 33. — **Teschénite de la Somma : — olivine (23), biotite (19), augite (20), présentant la structure ophitique avec du labrador (6) et englobée avec sodalite (40) dans de grandes plages d'orthose (3).**

dans les tufs, soit en fragments englobés dans une *leucotéphrite à olivine*, pauvre en leucite.

Un premier type présente l'aspect extérieur d'une diabase très feldspathique. Au microscope, on constate que la roche est holocristalline : elle renferme de grands cristaux globuleux d'olivine et de grandes plages de pyroxène offrant la structure ophitique avec des lamelles diabasiques de labrador (fig. 33). Les cristaux de feldspath sont fréquem-

ment entrecroisés et maclés suivant la loi de Baveno. Tous ces éléments sont englobés dans de grandes plages d'*orthose* limpide, parfois maclée suivant la loi de Carlsbad. Cette orthose renferme, en outre, en très grande abondance de gros cristaux globuleux de *sodalite*. Ce dernier minéral est parfois moulé par le bord des plages de pyroxène, ce qui semble indiquer que la sodalite a commencé à cristalliser peu avant la fin de la consolidation du pyroxène; assez rarement le labrador est inclus dans la sodalite.

Dans beaucoup d'échantillons, la sodalite et l'orthose forment plus de la moitié de la roche, et l'on est conduit, par la diminution progressive des autres éléments, à de véritables *sanidinites à sodalite*, semblables à celles qui ont été décrites, p. 455.

En outre des minéraux énumérés plus haut, on trouve souvent de l'apatite, de la magnétite et de la biotite; cette dernière est parfois groupée ophitiquement avec le labrador ou la sodalite. Il existe des inclusions vitreuses dans tous les minéraux transparents, elles sont parfois très grosses et globuleuses dans l'olivine et renferment des lamelles cristallines dont je n'ai pu déterminer la nature. L'orthose et la sodalite sont parfois très riches en longues aiguilles cristallitiques d'augite.

Cette roche ne doit pas être considérée comme un simple accident minéralogique, tous ses échantillons sont remarquablement identiques et ont le cachet d'une roche consolidée dans des conditions normales : elle est à rapporter à la famille des *teschénites*.

Le second type, plus rare que le précédent, offre le même aspect extérieur. L'examen microscopique y décèle de l'augite, de la hornblende et du mica, englobés par de grandes plages d'un feldspath triclinique basique, s'éteignant sous des angles maximum voisins de 45° dans la zone de

symétrie perpendiculaire à g^1 (010). De même que dans les roches précédentes, ces éléments basiques sont moulés par de grandes plages d'orthose qui ici sont accompagnées non par de la sodalite, mais par de la *leucite* : ce minéral est contemporain de l'orthose antérieur ou postérieur à ce minéral (fig. 34).

D'autres échantillons présentent exactement la même structure que les *teschénites* décrites plus haut, mais la

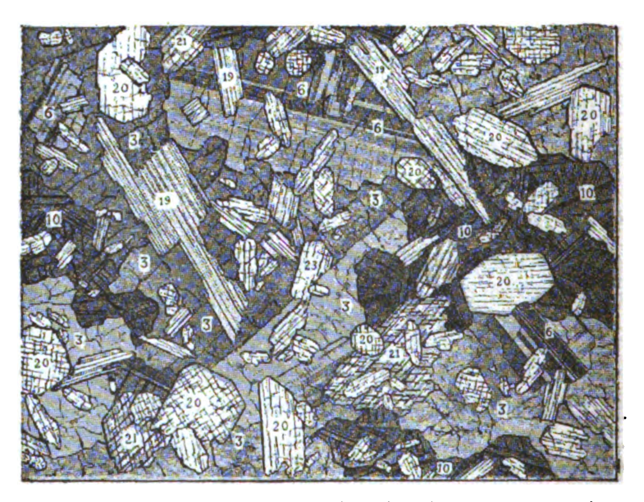


Fig. 34. — Teschénite à leucite : — biotite (19), augite (20), hornblende (21), feldspath triclinique (6), englobé par un mélange d'orthose (3) et de leucite (10).

sodalite y est remplacée par la leucite qui, en outre, est plus abondante que l'orthose.

Ces roches constituent un type pétrographique nouveau, et sont des *teschénites à leucite*, qui n'ont pas d'équivalents parmi les roches grenues anciennes. Par disparition de l'orthose et grande abondance de leucite, les roches passent à des leucotéphrites holocristallines.

Enfin, j'ai eu l'occasion d'observer une bombe riche en leucite provenant de la lave de l'éruption du Vésuve de

1872. Elle est en grande partie formée de leucite dont les grands cristaux renferment des inclusions aciculaires d'augite. La roche renferme en outre une petite quantité d'augite, de biotite, d'apatite et de feldspath triclinique basique (bytownite) présentant par places des formes propres, grâce à un très petit résidu vitreux. Elle peut être comparée à la roche précédente dans laquelle l'orthose aurait disparu et aurait été remplacée par une grande quantité de leucite. Toutes ces roches paraissent le résultat de la cristallisation en profondeur du magma leucotéphritique.

J'ai observé, en outre, dans le même gisement, quelques autres échantillons s'écartant des types précédents.

Une bombe, provenant du Rivo di Quaglia, est en grande partie constituée par des cristaux d'augite, allongés suivant l'axe vertical, avec çà et là de petits nodules feldspathiques. La roche, un peu rubanée, ressemble à une amphibolite. Au microscope, on constate que le pyroxène est englobé par une matière isotrope incolore (verre ou leucite), accompagnée de quelques microlites feldspathiques filiformes. Il existe, par places, de l'apatite et de grandes plages d'anorthite, déjà visibles à l'œil nu : les microlites feldspathiques à extinction longitudinale s'orientent géométriquement sur ces grands cristaux d'anorthite.

Par analogie avec les échantillons de Roccamonfina, décrits plus loin, il me semble probable que cette roche constitue une ségrégation basique de la leucotéphrite. Du reste, elle offre une certaine analogie avec les bombes holocristallines à leucite que je viens d'étudier, dont elle présente peut-être une variété à cristallisation incomplète.

J'ai recueilli, dans le ravin de Pollena, une bombe feldspathique entourée de leucotéphrite. Elle est formée par de grands cristaux d'apatite, d'augite, de biotite, enve-

loppés d'anorthite. Tous ces cristaux sont corrodés et noyés dans un magma vitreux incolore, très riche en longues baguettes d'augite, de biotite, et en microlites plumeux de feldspath triclinique à extinction oblique.

On peut se demander si cette roche ne serait pas un calcaire modifié en profondeur et refondu par la leucotéphrite plutôt qu'une ségrégation basique de cette dernière roche. La comparaison de cette enclave avec les deux derniers échantillons précédemment décrits me fait pencher vers la dernière hypothèse.

Roccamonfina. — J'ai recueilli, dans les *leucotéphrites* à hornblende et biotite, exploitées près de San Martino, de très nombreuses enclaves atteignant parfois la grosseur de la tête. Elles ont une couleur rougeâtre due à la rubéfaction de plusieurs de leurs éléments.

Le type le plus commun présente de nombreux grands cristaux d'olivine et d'augite, accompagnés parfois de biotite et d'apatite. Ces minéraux sont englobés dans un magma renfermant du verre incolore et une grande quantité de longs microlites de feldspath triclinique, à formes plumeuses, associés à de grandes lames de mica, en partie transformées en produits ferrugineux, et à des microlites d'augite. L'olivine englobe le pyroxène ou est moulée par lui, ces deux minéraux sont automorphes, la biotite est de formation postérieure.

Dans quelques échantillons, l'olivine est rare ou absente : on rencontre çà et là de très grands cristaux d'anorthite englobant les minéraux ferrugineux. Ils ont des formes géométriques et sont bordés par une zone dentelée des microlites de feldspath triclinique du magma fondamental qui s'orientent géométriquement sur eux. Ces microlites sont notablement plus acides; ils s'éteignent sous de petits angles. Parfois ils se groupent autour d'un

centre, donnant à la roche une structure variolitique.

Quelques-unes de ces enclaves sont riches en hornblende brune, peu biréfringente. Le pyroxène y affecte surtout la forme de très grands microlites. Çà et là, et particulièrement au contact de la leucotéphrite, apparaissent de gros cristaux de leucite. Le passage entre la leucotéphrite et ses enclaves se fait d'une façon insensible. Ces enclaves, très différentes de la leucotéphrite englobante, au point de vue de la structure et de la composition, me semblent constituer des ségrégations basiques de cette dernière.

A Cescheto, j'ai trouvé dans la *leucotéphrite* une enclave grenue qui semble avoir une même origine avec une composition différente. C'est en effet la leucite qui constitue les trois quarts de la roche; ses grands cristaux globuleux, pressés les uns contre les autres, englobent de l'augite verte, et çà et là sont moulés par de petites plages d'anorthite. Le pyroxène présente par places des formes géométriques, mais le plus souvent, il est creusé de cavités, dentelé sur ses bords, et entouré de prolongements cristallitiques qu'englobe la leucite. Ces divers minéraux sont très riches en inclusions vitreuses. Cette enclave est enveloppée par la leucotéphrite qui, par places, la pénètre : elle semble s'être formée dans le magma de cette roche : elle n'a subi aucun phénomène de corrosion.

2° *Enclaves non feldspathiques.*

Les enclaves non feldspathiques de cette famille pétrographique peuvent être divisées en deux catégories : les unes sont les homologues des *nodules à hornblende* des roches feldspathiques, les autres sont des nodules à olivine, ils ne se rencontrent que dans les types les plus basiques (*téphrites* et *leucotéphrites à olivine*).

A. Nodules à hornblende, biotite, etc.

Résumé et conclusions. — Les téphrites renferment parfois des inclusions grenues basiques, riches en apatite, ilménite, augite, hornblende, biotite et qui peuvent être considérées comme des ségrégations basiques de la roche qui les englobe. Ce sont les homologues des nodules à hornblende et des roches basaltiques. Quelques-unes d'entre elles contiennent de la haüyne, du sphène.

Les *leucotéphrites* (Somma, Vésuve, etc.) renferment parfois aussi des agrégats non feldspathiques qui sont, dans tous les cas, de véritables ségrégations basiques formées par de l'apatite, de l'augite, de l'olivine, du mica, de la leucite, etc. seuls ou associés et renfermant parfois de la matière vitreuse. Ces roches ne se distinguent en rien des enclaves des leucitites qui seront étudiées plus loin, et offrent souvent une certaine analogie avec les blocs silicatés résultant de la transformation de calcaires : elles sont toutefois dépourvues de humites, de spinelle, etc., qui restent caractéristiques des roches métamorphiques de ce gisement.

α. Téphrites.

Bohême. — Je dois à l'obligeance de M. Cléments une enclave provenant de Wolfstein près Hermesdorf. La roche qui l'englobe a une grande ressemblance avec les *téphrites* (andésites à haüyne) du Mont Dore.

L'enclave est grenue, formée par de l'apatite, du sphène, de l'ilménite englobés par de l'augite, de la hornblende et un peu de biotite. L'augite est riche en inclusions gazeuses et vitreuses à bulle ; elle renferme des inclusions aciculaires rappelant un peu celles de certains diallages.

Cette enclave semble due à une ségrégation en profondeur des éléments basiques de la téphrite.

Canaries. — MM. V. Fritsch et Reiss ont signalé[1] des nodules grenus formés d'augite, d'haüyne et de sphène dans les tufs d'Isleta de Canaria : ils les considèrent comme le résultat de cristallisations effectuées en profondeur dans des *téphrites à haüyne*. Ces enclaves paraissent présenter une grande analogie avec celles qui accompagnent les roches non feldspathiques et qui seront étudiées plus loin.

β. Leucotéphrites[1].

Somma et Vésuve. — Les ségrégations qui nous occupent ici se rencontrent aussi bien en blocs épars dans les tufs de la Somma, que dans les leucotéphrites en coulées à la Somma et au Vésuve.

A la Somma, ce sont surtout des blocs très cristallins, constitués par de l'augite automorphe, associée à des cristaux globuleux de leucite ; souvent il existe, en outre, de l'apatite, de la biotite. Les inclusions vitreuses à bulle sont abondantes dans le pyroxène et surtout dans la leucite : elles se concentrent au milieu des cristaux de ce dernier minéral qui renferme aussi de longues aiguilles filiformes d'augite. On peut citer aussi des agrégats à grands éléments constitués par de la biotite, de l'augite, de l'olivine, etc., seuls ou associés. Ils sont soit holocristallins, soit pourvus de matière vitreuse brunâtre. Quand ils sont holocristallins, ils ressemblent quelque peu aux blocs silicatés provenant de la transformation des calcaires. Le mica et l'augite y sont plus ferrugineux, ils sont dépourvus de spinelles, de humites, de humboldtilite, etc.

1. Il est possible qu'une partie des bombes à hornblende, apatite, des tufs de Laach soit en relations avec les *leucotéphrites* de cette région.

Dans la lave de l'éruption de 1872, j'ai recueilli un bloc formé d'augite automorphe et de biotite : il existe une assez grande quantité de verre brunâtre ; tous les minéraux sont riches en inclusions vitreuses. Il me semble peu douteux que cet échantillon soit une ségrégation basique de la roche qui l'englobe.

Un échantillon, de la collection du Muséum, provenant de Portici, est formé par un agrégat à grands éléments d'augite et de mica brun rouge : il est englobé dans une leucotéphrite d'une éruption moderne du Vésuve, et semble avoir la même origine que l'échantillon précédent.

Basilicate. — *Vulture.* Les *tufs à haüyne* et les *leucotéphrites à haüyne*, du Vulture, aussi bien que les leucitites à haüyne de Melfi, renferment de nombreux nodules à mica, hornblende, etc., avec ou sans haüyne qui seront étudiés plus loin avec les enclaves des *leucitites*.

B. Nodules à olivine.

Résumé et conclusions. — Les *nodules à olivine* ne se rencontrent que dans les *téphrites* et *leucotéphrites* les plus basiques renfermant de l'olivine (*Basanites* des auteurs allemands) : ils ne diffèrent en rien de ceux des basaltes. On peut citer comme exemple les *téphrites à olivine* de Naurod, les *leucotéphrites* de la région de Laach, etc.

III. Roches basaltoïdes sans feldspaths.

(NÉPHÉLINITE, LEUCITITE, BASALTE MÉLILITIQUE, AUGITITE ET LIMBURGITE)

1° *Enclaves avec néphéline ou leucite.*

Résumé et conclusions. — Les *leucitites* du Latium renferment des roches grenues composées de leucite, pyroxène, mica : fort souvent, elles contiennent en abondance de l'orthose. Ce fait peut recevoir l'explication théorique que j'ai donnée au sujet de la présence du même minéral dans les enclaves similaires des *leucotéphrites* de la Somma. Des enclaves analogues ont été trouvées dans les tufs de Ventotene et dans les *leucitites* de Madagascar.

Il devient difficile de savoir si ces enclaves, dépourvues d'orthose, constituent la forme grenue de la *leucitite* ou, si au contraire, elles en forment des ségrégations. Fréquemment ces enclaves passent d'une façon insensible à des agrégats silicatés, riches en grenat, wollastonite, anorthite résultant de la transformation de calcaires. Il est probable que l'on se trouve là en présence de cristallisations profondes du magma leucitique, endomorphisé par suite d'absorption d'enclaves calcaires.

Les néphélinites de quelques gisements renferment des enclaves grenues, formées de néphéline, pyroxène, mica, magnétite, ilménite, plus rarement pérowskite, grenat mélanite, haüyne ou sodalite, présentant de grandes variations dans leur composition minéralogique; ce sont pour celles de l'Oberwiesenthal que M. Sauer a créé la dénomination d'*endogene Einschlüsse* pour exprimer leurs relations intimes avec la roche volcanique englobante.

Ces roches peuvent être comparées à l'Ijolite de Finlande et aux variétés holocristallines de *néphélinite* que l'on trouve dans quelques gisements de néphélinites, soit comme accident de peu d'importance (Essey-la-Côte), soit en grandes masses (Katzenbuckel, Puy de Saint-Sandoux, etc.). Il est intéressant de faire remarquer que ces dernières roches renferment de grandes plages d'orthose comparables à celles des enclaves de leucitites.

Enfin dans les basaltes mélilitiques, je n'ai personnellement étudié qu'une seule enclave grenue, assez semblable à une *teschénite*.

α Néphélinites et basaltes mélilitiques.

Vosges. — Dans les échantillons de *néphélinite* d'Essey-la-Côte que je dois à l'obligeance de M. Vélain, j'ai trouvé une petite amande formée par des cristaux prismatiques de néphéline, associés à de longues baguettes d'apatite, des cristaux d'augite, d'œgyrine et de biotite.

Cette petite enclave s'est évidemment formée en place et constitue une ségrégation de la néphélinite[1].

Westphalie. — M. Rinne a décrit[2] dans la *néphélinite mélilitique* de Hohenberg, près Bühne, des enclaves formées d'anorthite (avec inclusions rappelant celles des feldspaths des gabbros, accompagnées d'inclusions gazeuses, liquides et vitreuses), d'augite (avec les mêmes inclusions que le feldspath), d'olivine, de bronzite et de spinelle. Ces roches présentent des phénomènes de corrosion, des recristallisations d'olivine, etc. M. Rinne les considère comme ayant la même origine que les *nodules à olivine* du même gisement (formation protogène du

1. Cette néphélinite est localement riche en *mélilite* et contient alors de la *pérowskite*.
2. *Sitzungsber. k. preuss. Akad. Wissensch. Berlin*, XLII, 987, 1891.

magma). Ces enclaves, que je n'ai pas personnellement étudiées, me paraissent tout à fait identiques à celles que j'ai décrites dans diverses roches basaltoïdes, pages 129 à 142, et que j'ai regardées comme des enclaves énallogènes.

Saxe et Bohême. — Les *néphélinites* de l'Oberwiesenthal renferment en abondance des enclaves grenues basiques, associées à des fragments de gneiss et de granite.

M. Sauer les a décrites [1] et les a désignées sous le nom d'*endogene Einschlüsse*, voulant ainsi exprimer son opinion sur leur mode de formation par cristallisation en profondeur dans le magma néphélinique. La place que je leur donne dans ce travail indique que je partage la manière de voir de M. Sauer. Je tiens à remercier M. Zirkel qui a bien voulu m'envoyer les échantillons que j'ai étudiés.

M. Sauer a distingué cinq types de roches à gros grains formées par les minéraux suivants : 1° apatite, néphéline et augite; 2° augite, néphéline, magnétite, ilménite et parfois biotite; 3° augite, hornblende, magnétite, *pérowskite* et biotite; 4° augite, magnétite, *pérowskite*, sphène, apatite; 5° grenat (intermédiaire entre la schorlomite et le mélanite avec 10, 84 0/0 de TiO^2), néphéline : la roche est parfois porphyroïde, le grenat en grands cristaux est alors entouré par un mélange finement grenu de néphéline, d'augite, de magnétite et d'apatite.

Les échantillons que j'ai examinés se rapportent à deux types; dans l'un, le pyroxène très pléochroïque dans les teintes vertes et jaunes, englobe de gros cristaux de pérowskite (montrant de la façon la plus nette les macles polysynthétiques), du fer titané et de l'apatite, quelquefois de la biotite. La pérowskite est postérieure à l'apatite. Il existe une petite quantité d'éléments blancs. Dans le

1. *Erlaüterung zur geol. Specialkarte des Königreichs Sachsen.* Section Wiesenthal, p. 68, 1884.

second type, au contraire, ce sont les éléments blancs qui dominent, englobant des cristaux de pyroxène à forme géométrique, souvent entourés par du grenat brun foncé.

Quant aux éléments blancs, ils sont transformés en zéolites (mésotype, analcime, etc.) et piquetés de calcite. D'après les formes globulaires de quelques-unes de ces pseudomorphes et en raison de l'analogie que présente les minéraux de ces enclaves avec ceux du cap Acra, qui seront décrits plus loin, je crois qu'une partie seulement de ces pseudomorphoses doit être attribuée à de la néphéline, et l'autre partie à un minéral du groupe haüyne-sodalite.

M. Stelzner a décrit[1], dans la *néphélinite* de Podhorn, près Marienbad (Bohême), des enclaves grenues analogues à celles de l'Oberwiesenthal.

Höhgau. — Dans le *basalte mélilitique* de Sennhof, près de Hohenstoffeln, j'ai recueilli une enclave grenue à grands éléments assez profondément altérés. Elle est formée par de la hornblende, de l'augite violacée, de la magnétite, de l'apatite, associées à du labrador, à de la néphéline et à un minéral du groupe haüyne-noséane.

Algérie. — *Oran*. Je dois à l'obligeance de M. Vélain une enclave grenue qu'il a recueillie dans les tufs volcaniques du cap Acra, près Rachgoun. Dans ce dernier gisement, on rencontre des *leucotéphrites*, des *néphélinites*[2].

L'enclave dont il s'agit est à grands éléments ; elle renferme du sphène et de l'apatite, beaucoup d'augite, de

1. *Jahrb. k. k. geol. Reichsanst.*, XXV, 277, 1885.

2. Parmi les néphélinites que m'a remises M. Vélain, s'en trouvent quelques-unes qui sont tellement riches en mélilite que l'on peut les considérer comme de véritables *basaltes mélilitiques*; le fait mérite d'être signalé, les gisements de ces roches étant relativement peu nombreux : la pérowskite s'y rencontre en petite quantité.

grenat mélanite et de mica, de la noséane (ou de l'haüyne) et de la néphéline.

Le pyroxène est très pléochroïque dans les teintes vertes et jaunes, il est intimement associé à de la biotite et au grenat mélanite qui, dépourvu de forme géométrique, moule les éléments précédemment énumérés. La noséane, parfois riche en inclusions ferrugineuses, est entourée par de grandes plages de néphéline.

Cette roche est si analogue à celles de l'Oberwiesenthal, qu'il ne peut guère y avoir de doute sur ses relations avec les néphélinites de la région dont elle provient, région encore peu connue au point de vue géologique.

β Leucitites.

Latium. — *Monts Albains et voisinage immédiat de Rome.* — Les tufs leucitiques (peperino) de la campagne de Rome renferment en grande abondance des roches grenues, associées aux calcaires modifiés qui ont été décrits page 334. Les localités d'Ariccia, Marino (Monts Albains), de Tavolato près Rome sont particulièrement riches à cet égard. La composition des enclaves homœogènes des *leucitites* que nous avons à étudier ici est beaucoup moins constante que celle des roches similaires des autres gisements décrits dans ce paragraphe : cela tient sans doute à ce qu'elles sont le résultat de cristallisations effectuées en profondeur dans le magma leucitique, sous l'influence d'enclaves calcaires. Ce seraient, dans ce cas, de véritables produits endomorphes du magma leucitique.

Parmi ces enclaves, on rencontre tout d'abord des agrégats généralement holocristallins, mais contenant cependant parfois un résidu vitreux et constitués par de grands cristaux de pyroxène vert foncé allongés ou grenus, par un peu de biotite incluse dans le pyroxène ou posté-

rieure à lui, enfin par de la leucite et de la haüyne. Les inclusions vitreuses à bulle sont fréquentes. Dans certains échantillons, la biotite devient l'élément ferrugineux dominant. Tous ces blocs sont comparables à ceux de même composition qui ont été décrits à la Somma et au Vésuve. Ils paraissent être le résultat de la cristallisation normale du magma leucitique avec, parfois, exagération dans la proportion des éléments ferrugineux.

D'autres blocs, au contraire, toujours hollocristallins, sont plus riches en éléments blancs qu'en minéraux colorés : la leucite formant de grands cristaux globuleux pressés les uns contre les autres est très abondante. Le pyroxène, moins ferrugineux que celui des roches précédentes, forme tantôt de grands cristaux automorphes mais dentelliformes, tantôt de petits grains irréguliers : il est soit antérieur, soit postérieur à la leucite. Il est souvent accompagné d'apatite, d'haüyne, de sanidine, etc. ; ce dernier minéral peut devenir très abondant, formant des cristaux aplatis suivant g^1 (010), moulant la leucite : la roche passe alors à de *véritables sanidinites à leucite*. Enfin, on voit parfois apparaître de la wollastonite, de la humboldtilite, du grenat mélanite : l'haüyne devient alors plus abondante. Ces roches passent aux calcaires modifiés, décrits page 339, par des passages tellement insensibles qu'il me semble difficile de pouvoir établir une ligne de démarcation entre ces divers produits.

Ces enclaves sont souvent piquetées de calcite secondaire, la leucite est fréquemment zéolitisée.

M. Strüver a décrit antérieurement des[1] roches de Tavolato ; il a trouvé dans l'une d'elles : leucite, augite, sanidine, haüyne, mélanite, feldspath triclinique, biotite, magnétite, apatite, olivine, pyrrhotine, et dans une autre :

1. *Memor. R. Accad. Lincei*, 1877.

leucite, augite, sanidine, feldspath triclinique, olivine, biotite, magnétite, apatite. J'ai observé quelques échantillons qui paraissent analogues et qui conduisent à de véritables leucotéphrites holocristallines.

L'étude minéralogique détaillée de ces bombes du Latium constituerait un travail minéralogique d'un grand intérêt. Le développement pris par mon mémoire me force à passer rapidement sur ce sujet.

Lac de Bracciano. — Les tufs des environs du lac de Bracciano renferment, associés aux sanidinites et aux calcaires modifiés qui ont été décrits plus haut, des agrégats de leucite, de biotite, d'augite et de magnétite, identiques à ceux des Monts Albains. Je les signale ici, bien que l'on ne sache pas exactement avec quelle catégorie de roches leucitiques ils sont en relation.

Iles Ponces. — *Ventotene.* — Aucune roche à leucite n'a été signalée à ma connaissance à Ventotene. On a vu plus haut que divers auteurs, et en particulier Dolomieu et M. Dœlter[1], ont annoncé l'existence dans les *tufs trachytiques* des Iles Ponces d'agrégats analogues à ceux de la Somma. Parmi les échantillons que je dois à l'obligeance de M. Dœlter, j'ai été surpris de rencontrer une roche à leucite. C'est une bombe holocristalline, à gros grains, dont tous les éléments (apatite, biotite, augite et leucite) peuvent être décelés à l'œil nu.

L'examen microscopique montre que la leucite englobe les autres minéraux. Les éléments de la roche renferment des inclusions vitreuses. Il existe par places, dans cette bombe, des cavités globuleuses, à parois comme fondues, sur lesquelles on distingue, çà et là, des aiguilles d'apatite. Cette roche est identique à certaines bombes des tufs leucitiques du Latium. Elle est évidemment en relation

1. *Sitzungsber. k. Akad. Wien.*, LXXI, 49, 1875.

avec des roches leucitiques inconnues *in situ*. On peut comparer ce gisement d'enclaves leucitiques à celui de l'Astroni, décrit p. 326.

Au moment du tirage de cette feuille j'ai reçu de M. V. Sabatini un mémoire sur les roches des îles Ponces. Ce savant signale[1] dans la petite île de San Stephano, voisine de Ventotene, l'existence d'une *leucotéphrite* qui peut servir à expliquer l'existence de cette ségrégation leucitique.

Madagascar. — Je ne crois pas qu'aucune roche à leucite ait été jusqu'à présent signalée à Madagascar. Grâce à l'obligeance de M. Stanislas Meunier, j'ai pu examiner la collection de roches volcaniques recueillie dans cette île par M. Catat, et donnée par cet explorateur au Muséum d'Histoire naturelle; j'y ai trouvé une *leucitite*. Elle est indiquée comme provenant du Mt Tsiafajavona[2], elle présente l'aspect extérieur d'un basalte très compacte et renferme de grands cristaux intratelluriques d'olivine et d'augite, englobés dans un magma formé de gros microlites d'augite, de leucite, avec beaucoup de magnétite et de biotite.

Un échantillon renferme une petite enclave à structure grenue, constituée par de l'augite et de la leucite; dans un autre fragment, il existe en outre de l'œgyrine, de la sodalite et un peu d'orthose.

2° *Enclaves sans néphéline ni leucite.*

Dans ce groupe d'enclaves, il y a lieu de distinguer, comme pour les roches feldspathiques basiques, deux catégories.

1. *Boll. del. R. Comit. geol. d'Italia*, n° 3-4, 1893.
2. Sommet culminant de l'île, dans le grand massif central d'Ankaratra (lat. 19° 20' 55" et long. 44° 53' 0", M. Grandidier).

L'une est formée par des nodules à hornblende, à mica, pyroxène, noséane, etc., qui sont les homologues des nodules à hornblende des roches feldspathiques. L'autre est constituée par des nodules à olivine ne différant en rien de ceux des basaltes.

A. Nodules à hornblende, mica, pyroxène, haüyne.

Résumé et conclusions. Les nodules dont j'ai à m'occuper ici accompagnent aussi bien les *leucitites* et les *néphélinites* que les *limburgites* et *augitites* qui leur sont associées.

Ce sont des roches généralement holocristallines, à grands éléments, mais renfermant parfois du verre. On y distingue deux types.

Dans l'un, il n'y a que des éléments ferrugineux (sauf l'apatite généralement abondante). On y observe de la hornblende, de l'augite, du mica noir, et des oxydes de fer (magnétite, ilménite). Tous ces minéraux peuvent être associés dans la même roche, ou, au contraire, être isolés : il existe par suite une assez grande variété dans les échantillons provenant d'un même gisement. A ces éléments, se joint parfois de l'olivine. La hornblende et le mica sont postérieurs aux autres éléments, ils présentent souvent la structure pœcilitique.

C'est ce type d'enclaves qui peut être comparé aux nodules à hornblende des basaltes dont ils sont les homologues. Ils en diffèrent par l'abondance du mica. Les échantillons provenant des divers gisements étudiés (Eifel, Basilicate, Cap-Vert) sont remarquablement identiques.

Il en est de même pour le second type qui contient, en outre des éléments énumérés plus haut, de la noséane ou de la haüyne, et qui renferme parfois en grande abondance

de la pérowskite (Basilicate) du grenat mélanite ou du sphène. Dans les enclaves de ce genre provenant de l'Oberwiesenthal, il existe, en outre parfois de la néphéline, ces roches établissent le passage avec celles qui ont été décrites page 531.

Les divers éléments de toutes ces enclaves sont parfois riches en inclusions vitreuses; ils sont identiques aux minéraux qui existent normalement dans les roches [1] qui les englobent; aussi ces enclaves doivent-elles être considérées comme le résultat de cristallisations effectuées en profondeur dans le magma d'où proviennent ces dernières. C'est ainsi, du reste, qu'elles ont été interprétées jusqu'ici.

Une observation, faite sur un échantillon de la Pulver Maar, qui renfermait un petit fragment d'une roche quartzifère ancienne, semble prouver que, dans quelques cas au moins, ces ségrégations ne semblent pas d'origine très profonde, et ont dû se produire dans les cheminées d'ascension du volcan.

Prusse rhénane. — *Eifel.* Parmi les produits de projection des Maare de l'Eifel, on rencontre en abondance des bombes de couleur foncée, différant par leur composition minéralogique des nodules à olivine qui les accompagnent souvent. Ces roches sont connues depuis fort longtemps [2].

Celles que j'ai étudiées proviennent de la Pulver Maar, des trois Maare de Daun, de Dreis, etc.

Les minéraux qui constituent ces bombes sont : l'apatite, la magnétite et l'ilménite, l'augite, l'olivine et la

1. Il y a lieu toutefois de faire remarquer que la haüyne de ces enclaves est toujours dépourvue des inclusions en grille qui existent dans la haüyne de la roche volcanique englobante. Ce fait peut être notamment vérifié à Melfi.

2. Voir Dechen, *op. cit.*, etc.

hornblende. M. Schulte, qui a récemment décrit[1] les bombes des environs de Daun, y a trouvé en outre, mais plus rarement, de la haüyne, de la méionite, du sphène.

Ces divers éléments s'observent soit seuls, soit combinés entre eux de la façon la plus variée, donnant ainsi naissance à un grand nombre de types pétrographiques.

Tantôt ces roches sont holocristallines, tantôt elles renferment un résidu vitreux : leurs éléments sont parfois riches en inclusions vitreuses.

Le plus généralement, la hornblende, puis la biotite sont les derniers éléments consolidés. Dans quelques cas, aucun des minéraux (sauf l'apatite) n'a de contours géométriques, dans d'autres cas, au contraire, tous sont automorphes : l'olivine constitue alors de longs cristaux allongés, un peu cristallitiques, souvent intimement associés à la hornblende et à l'augite.

Assez souvent, la biotite ou la hornblende, en larges plages, présentent la structure pœcilitique en englobant un grand nombre de grains ou de cristaux à formes très nettes de pyroxène.

La hornblende et le mica sont généralement intacts; plus rarement, ils présentent des phénomènes de transformation analogues à ceux qui ont été décrits précédemment.

Les minéraux constituant ces bombes sont identiques à ceux que l'on rencontre comme éléments anciens des roches volcaniques (*leucitites*, *néphélinites*, *limburgites*), qui accompagnent et parfois englobent les bombes basiques dont je m'occupe ici. On observe même parfois des passages insensibles entre l'écorce microlitique et le centre de la bombe, par abondant développement du verre dans

1. *Verhandl. d. naturh. Vereins*, XLVIII, 195, 1891 et L, 303, 1893.

la zone de contact. Je considère donc ces enclaves comme des ségrégations, et dans certains cas, comme le résultat de la consolidation totale du magma qui les englobe. Ces ségrégations se sont évidemment produites antérieurement à la sortie de la roche volcanique, mais il semble que, dans beaucoup de cas, elles ne soient pas d'origine très profonde, et qu'elles aient dû se produire pendant l'ascension de la roche volcanique dans les cheminées souterraines.

En effet, j'ai recueilli, à la Pulver Maar, un bloc de *leucitite à hornblende*, englobant une bombe à hornblende. Au contact des deux roches, on voit une zone constituée par de grands cristaux automorphes de hornblende, d'augite et de biotite, avec un peu de verre brunâtre, puis on rencontre un nodule constitué par un verre incolore, fourni par la fusion de cristaux d'orthose en voie de démolition. Dans ce verre, il n'y a que quelques microlites d'augite. Quand on se rapproche du nodule à hornblende, on trouve une zone de grands cristaux d'augite, au delà de laquelle la roche possède la composition habituelle des enclaves similaires de la région (hornblende, augite, mica, olivine). Il semble que, dans cet échantillon, ce soit un fragment de roche ancienne étrangère, qui, une fois englobé par la roche volcanique, ait déterminé autour de lui la formation de minéraux ferrugineux, exagérant ainsi le phénomène qui se passe dans les mêmes roches autour d'un petite enclave quartzeuse.

Saxe et Bohême. — On a vu plus haut (page 531) que les *néphélinites* de l'Oberwiesenthal renferment des enclaves grenues dépourvues d'éléments blancs, à côté d'autres qui sont riches en néphéline, etc., je me contenterai donc de citer ici ces enclaves basiques.

M. Clements a bien voulu me communiquer quelques

enclaves provenant des roches basiques des Monts Duppau (Bohême) qu'il a décrites[1].

Ziegelei, Chaussée au pied du Schönberg. — La roche éruptive de ce gisement est une *leucitite* à noséane, riche en microlites de pyroxène vert clair.

L'enclave observée est constituée en grande partie par de l'augite brun verdâtre, verdissant sur les bords; elle forme des cristaux nets englobés par de très grandes plages de sphène, de haüyne. La roche renferme, en outre, de gros cristaux de pérowskite finement maclés, de l'apatite. Les cavités sont nombreuses dans la roche, elles sont remplies soit par de la calcite secondaire, soit par le magma de la leucitite. Le sphène est jaune rougeâtre légèrement pléochroïque; il englobe la pérowskite et forme parfois, avec le pyroxène, des associations ophitiques. L'haüyne présente les inclusions habituelles, se concentrant sur les bords; elles sont, par places, violacées; cette haüyne est en partie zéolitisée. L'apatite renferme des inclusions noires, en partie transformées en hématite : il y a lieu de signaler en outre une très petite quantité de hornblende.

Seeberg près Kaaden. — La roche de Seeberg est voisine comme composition de la précédente. Les enclaves y ont une composition analogue, mais elles sont à grains plus fins. Le sphène y moule encore le pyroxène automorphe. L'haüyne est dépourvue d'inclusions et presque entièrement zéolitisée (mésotype, christianite). Peut-être y a-t-il aussi de la matière vitreuse ayant subi les mêmes transformations. Toutes ces enclaves doivent être, sans aucun doute, considérées comme des ségrégations des roches qui les renferment.

Latium. — A côté des bombes leucitiques décrites

1. *Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt*, XL, 347, 1890.

plus haut, on trouve, dans les tufs des divers gisements déjà cités du Latium, des agrégats cristallins, formés de pyroxène seul, ou de biotite et de magnétite, de biotite et de pyroxène, avec parfois de la haüyne, agrégats qui sont tout à fait analogues à ceux d'autres gisements qui sont étudiés dans ce chapitre. Ils passent aux blocs leucitiques par apparition de leucite.

Quelques-uns d'entre eux (Frascati) sont riches en verre, et leurs divers minéraux constitutifs contiennent de grosses inclusions vitreuses brunâtres avec bulle.

Basilicate. — *Vulture.* La région du Vulture est connue depuis longtemps pour les bombes micacées et pyroxéniques de la célèbre *leucitite néphélinique à haüyne* (Haüynophyre) de Melfi, ainsi que des *leucotéphrites* du Vulture : elles abondent aussi sous forme de bombes dans les *tufs à haüyne* de tout ce massif volcanique. Elles ont été brièvement décrites par vom Rath et plus récemment par M. W. Deecke[1].

J'ai trouvé deux échantillons de ces roches dans la collection du Muséum d'histoire naturelle, ils sont indiqués comme provenant de Melfi. Au cours de l'impression de ce mémoire, M. Gentil m'a communiqué une très nombreuse série d'échantillons du même genre, qu'il vient de recueillir. Cette collection montre que ces produits, malgré des faciès extérieurs assez variés, présentent, dans les divers points du massif volcanique, une remarquable constance de composition. Il y a là un contraste frappant avec ce qui s'observe dans les tufs leucitiques du Latium.

Toutes ces bombes renferment de l'augite, de la hornblende basaltique ou du mica. On peut y distinguer deux types pétrographiques principaux, suivant qu'il existe ou non de la haüyne.

1. *N. Jahrb.* Beil. Bd. VII, 604, 1891.

Le premier type, dépourvu d'haüyne, est tantôt à très grands éléments, pouvant atteindre plusieurs centimètres, tantôt à très petits grains ne dépassant pas 0^{mm} 10. Il existe des bombes uniquement constituées par de l'augite en cristaux à formes nettes, par de la hornblende ou du mica. Ces trois minéraux en s'associant donnent naissance à des agrégats de composition variée. Ils viennent d'être énumérés dans leur ordre de consolidation relative; ils sont souvent riches en inclusions vitreuses. Dans beaucoup d'échantillons, on observe en abondance de l'apatite, de la magnétite ou de l'ilménite, et plus rarement un peu d'olivine.

Ce dernier minéral, au contraire, est abondant dans des bombes très micacées, qui sont sans doute celles que M. Deecke signale sous le nom d'*Olivine Bombe* et dans lesquelles il décrit de la bronzite, minéral que je n'ai pas trouvé dans les échantillons que j'ai examinés.

Les bombes à grains fins sont surtout formées par de l'augite, de la bi tite et de la magnétite, on y voit fréquemment se développer de grands cristaux d'augite donnant à la roche une texture porphyroïde.

Dans un échantillon à grains fins, dépourvu de cristaux porphyroïdes d'augite, j'ai rencontré en grande abondance des plages de *pérowskite* jaune foncé, montrant nettement les phénomènes biréfringents et les macles habituelles. Cette pérowskite, associée intimement à l'ilménite ou à la magnétite, est tout à fait identique à celle de l'Oberwiesenthal dont il a été question plus haut.

L'apparition dans ces roches à grains fins de cristaux porphyroïdes d'haüyne conduit au second type, dans lequel ce minéral est très abondant. L'haüyne y forme des grains blancs ou verdâtres dans lesquels on perçoit quelquefois les formes du rhombododécaèdre. Elle est dépour-

vue des inclusions en grille qui sont si caractéristiques de la haüyne bleue du haüynophyre de Melfi : elle contient parfois des inclusions globulaires, noires et opaques, et surtout des inclusions vitreuses avec bulle : ces dernières sont souvent extraordinairement abondantes.

Dans ces roches, l'augite est plus ou moins fréquente, très pléochroïque dans les teintes verte et jaune : elle est en partie postérieure à la haüyne qu'elle enveloppe, bien que, dans quelques échantillons, le pyroxène prenne des formes géométriques. Le mica et la hornblende, quand ils existent, sont fréquemment *pœcilitiques*, un seul de leurs cristaux englobant un grand nombre de grains des autres éléments. Il y a lieu de signaler, en outre, l'existence fréquente de l'apatite et de la magnétite. Quand l'haüyne est très abondante, on voit ses cristaux globuleux pressés les uns contre les autres.

Un des échantillons que j'ai examinés présente des particularités intéressantes. Il est formé par une trame d'augite dentelliforme de couleur très pâle en lames minces, dont toutes les cavités sont remplies par de la haüyne. Il existe en outre de l'apatite, et, çà et là, les plages de pyroxène sont bordées par une mince couche d'un élément blanc qui semble être un feldspath, mais dont je n'ai pu déterminer la nature avec précision.

Iles du Cap-Vert. — *San Antão.* M. Dœlter a décrit[1] d'intéressantes bombes dans les tufs basiques de San Antão. Les unes sont constituées par un agrégat grenu d'augite, de biotite et de sphène (Topo), d'autres contiennent de l'augite, de la hornblende brune, de la biotite, de la magnétite et du sphène avec un peu de verre (Pico da Cruz). Enfin, d'autres renferment de l'apatite,

1. *Die Vulcane der Cap Verden*, 149, 1882.

de l'augite, du sphène et de la haüyne avec un résidu vitreux.

Ces bombes sont généralement sans relation avec les blocs des roches volcaniques des tufs. M. Dœlter en a cependant trouvé un fragment, englobé dans une roche téphritique très vitreuse : elle contenait de l'augite, de l'haüyne, de la hornblende en voie de résorption, et de la biotite. Les inclusions vitreuses étaient abondantes dans les divers éléments.

M. Dœlter considère ces roches comme le résultat de cristallisations effectuées en profondeur dans le magma d'où proviennent les augitites et les roches basiques à néphéline qu'il a décrites dans la région. Je partage cette manière de voir.

Un échantillon, que M. Dœlter a bien voulu m'envoyer, est riche en apatite et en magnétite, englobées par de l'augite verdâtre : celle-ci renferme des inclusions vitreuses et des inclusions ferrugineuses rappelant celles du diallage. Ce pyroxène, en grains pressés les uns contre les autres, est parfois englobé par de grands cristaux pœcilitiques de biotite et de hornblende.

B. Nodules à olivine.

Résumé et conclusions. — Les nodules à olivine de cette catégorie de roches ne diffèrent en rien de ceux des basaltes, il est donc inutile de les décrire à nouveau.

Ils sont parfois extrêmement abondants, on peut citer à cet égard les tufs de *leucitite* et de *limburgite* de quelques-unes des Maare de l'Eifel et particulièrement de l'Etang de Dreis, les *néphélinites mélilitiques* du Hohenberg, près Bühne (Westphalie), récemment décrites par M. Rinne[1], etc.

1. *Sitzungsb. k. preuss. Akad. Wissensch. Berlin*, XLII, 1891.

TROISIÈME PARTIE

CONCLUSIONS AUXQUELLES CONDUIT L'ÉTUDE DES ENCLAVES DES ROCHES VOLCANIQUES

AVANT-PROPOS

Afin de faciliter au lecteur la compréhension de la nomenclature pétrographique dont j'ai fait usage dans mon mémoire, je crois devoir en exposer ici brièvement les grands traits.

Le tableau ci-après donne une idée de la classification des roches éruptives non quartzifères dont j'ai eu l'occasion de parler dans mon travail. Cette classification, à quelques modifications près, que j'ai introduites dans mes conférences de pétrographie du Collège de France et dans mon cours du Muséum d'histoire naturelle, est celle de mes maîtres, MM. Fouqué et Michel Lévy[1]. J'ai notamment fait disparaître complètement la notion d'âge qui, dans plusieurs des classifications actuelles, intervient pour faire désigner sous des noms différents une même roche, suivant qu'elle est ante ou posttertiaire.

Il semble utile, aujourd'hui que la détermination des éléments des roches est devenue facile et précise, de baser la classification des roches éruptives exclusivement sur les caractères minéralogiques qui permettent d'arriver à la détermination d'un échantillon à l'aide de ses caractères

1. Fouqué et Michel Lévy, *Minéralogie micrographique*, Paris, 1878. Michel Lévy, *Structure et classification des roches éruptives*, Paris, 1889.

intrinsèques, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir aucune notion d'âge ou de gisement géologique.

Il est loisible, une fois les roches minéralogiquement spécifiées, d'en faire des familles géologiques dont il est intéressant d'étudier les variations dans le temps et dans l'espace[1], ou de les grouper par familles chimiques, en se plaçant à des points de vue différents de celui qui sert de base à la classification minéralogique dont il vient d'être question. J'aurai l'occasion au cours des chapitres suivants de faire plusieurs de ces groupements, permettant de mettre en lumière les faits généraux qui découlent de l'étude à laquelle je me suis livré.

MM. Fouqué et Michel Lévy ont choisi pour premier caractère distinctif la *structure*, divisant les roches en *roches granitoïdes* et en *roches microlitiques.*

Les premières sont holocristallines et ne présentent pas d'arrêt apparent dans le développement de leur cristallisation ; les secondes sont le plus souvent semicristallines et montrent d'ordinaire dans leur développement deux *temps distincts* ayant donné naissance à des *grands cristaux* d'origine généralement intratellurique et à des *microlites* formant avec le résidu vitreux la pâte de la roche.

Le second caractère spécifique est tiré de la *nature des éléments blancs*, les feldspaths jouant parmi ceux-ci un rôle prépondérant. Dans les roches granitoïdes, les divisions secondaires sont empruntées à la nature de l'élément ferromagnésien. Dans les roches microlitiques, c'est l'élément blanc (feldspath ou feldspathoïde) en *microlites* qui sert à dénommer la roche. C'est ainsi, par exemple, qu'une roche dont les microlites sont constitués par de

1. Tels sont, par exemple, le groupe des *porphyrites micacées* de M. Michel Lévy, celui des *lamprophyres* de M. Rosenbusch.

ROCHES ÉRUPTIVES NON QUARTZIFÈRES[1]

Éléments ferromagnésiens dominants	Feldspathiques — Feldspath potassique ou sodopotassique — Seul	Avec feldspathoïdes — Néphéline	Avec feldspathoïdes — Leucite	Feldspath calcosodique — Seul[2] — Acide	Seul[2] — Basique	Avec feldspathoïdes — Néphéline	Avec feldspathoïdes — Leucite	Feldspathiques mais avec éléments blancs (feldspathoïdes) — Néphéline	Leucite	Mélilite	Sans feldspaths et sans feldspathoïdes	
Mica	Minette			Kersantite								Structure granitoïde (roches holocristallines)
Amphibole	— Syénite	Syénite néphélinique	Syénite néphélinique et leucitique	— Diorite								
Pyroxènes — *Augite*	— Syénite pyroxénique	—	—	Diabase		Teschénite		Ijolite			Pyroxénite	
Pyroxènes — *Diallage*				— Gabbro		—		—				
Pyroxènes — *Hypersthène*				— Norite								
Péridot				Diabase, gabbro, norite à olivine.		Teschénite à olivine					Péridotite	
Mica, amphibole ou pyroxènes (monoclinique ou rhombique)	Trachyte	Phonolite	Leucitophyre	Andésite	Labradorite	Téphrite	Leucotéphrite	Néphélinite	Leucitite	Mélilitite	Augitite	Structure microlitique, roches semi-cristallines (2 temps de consolidation distincts).
— *Avec en outre de l'olivine en grands cristaux*	— Trachyte à olivine	—	—	— Andésite à olivine ‖ (Basaltes	— Labradorite à olivine ‖ feldspathiques)	— Téphrite à olivine	— Leucotéphrite à olivine	— Néphélinite à olivine (Basalte néphélinique)	— Leucitite à olivine (Basalte leucitique)	— Mélilitite à olivine (Basalte mélilitique)	— Augitite à olivine (Limburgite)	

1. Dans la nomenclature de MM. Fouqué et Michel Lévy, les trachytes antetertiaires sont appelés *orthophyres*, les andésites, labradorites et basaltes du même âge, *porphyrites andésitiques* ou *labradoriques* et *mélaphyres*. La forme vitreuse des roches à orthose ou à feldspath triclinique acide est désignée sous le nom général d'*obsidienne* ; celle de toutes les autres roches plus basiques sous le nom de *tachylite*.

2. Les roches grenues à feldspath triclinique microlitique sont dites *andésitiques* quand le feldspath est acide, *labradoriques* ou *anorthiques* quand il est basique.

l'orthose est un *trachyte*, alors qu'une autre à microlites de néphéline est une *néphélinite*.

Lorsque les microlites de feldspath sont accompagnés de microlites de *mica*, d'*amphibole* ou d'*augite*, la roche est dite *micacée*, *amphibolique* ou *augitique*.

Quand elle contient des grands cristaux intratelluriques, ces derniers sont spécifiés dans la dénomination de la roche en ajoutant au nom de celle-ci l'énumération de ces grands cristaux précédée de la préposition *à*.

C'est ainsi que la composition d'un *trachyte micacé à biotite et augite* sera facile à comprendre.

En ce qui concerne les roches à microlites de feldspath triclinique, il a été distingué deux séries, celle des *andésites* et celle des *labradorites*. La première est formée par toutes les roches dont les microlites feldspathiques s'éteignent à moins de 20° dans la zone de symétrie, perpendiculaire à g^1 (010), alors que les *labradorites* comprennent toutes les roches dont les microlites de feldspath ont des angles d'extinction supérieurs à 20°.

Conformément à l'usage, le nom de *basalte* a été réservé à celles des roches microlitiques qui sont riches en grands cristaux d'olivine.

Je n'ai inscrit dans le tableau de la page 549 que les grands groupes pétrographiques, sans m'occuper des nombreuses subdivisions que l'on peut y faire.

Quant aux roches quartzifères, dont je n'ai pas eu à m'occuper dans ce mémoire, sauf en ce qui concerne quelques rhyolites et dacites, je me contenterai de rappeler que c'est leur structure qui permet de les subdiviser en *roches granitoïdes*, *microgranitoïdes* et *porphyriques*.

Les premières comprennent les *granites* (granite, granulite et pegmatite); roches holocristallines dans lesquelles les deux temps de consolidation sont peu distincts :

elles sont les homologues des roches granitoïdes sans silice libre.

Les secondes sont constituées par les *microgranites* (microgranite, microgranulite, micropegmatite) dans lesquels, au contraire, on peut distinguer nettement deux temps de consolidation. Ces roches sont également holocristallines.

Dans les roches *porphyriques*, au contraire, il existe une quantité plus ou moins grande de verre : les deux temps de consolidation sont très distincts. Ces roches sont donc tout à fait homologues des roches microlitiques et sont désignées sous le nom de *rhyolites* [1] (R. à quartz globulaire, R. pétrosiliceuse, suivant la structure du quartz et la nature des sphérolites de la pâte). Les verres des roches porphyriques acides sont désignés sous le nom de *pechstein* ou de *perlite*.

Les *roches volcaniques*, que je considère spécialement dans ce mémoire, comprennent toutes les *roches microlitiques* du tableau précédent et pour les roches basiques quelques roches holocristallines grenues ou ophitiques; j'y ai joint quelques documents, malheureusement très peu nombreux, sur les *rhyolites* et les *dacites*.

Divisions particulières établies parmi les roches volcaniques en vue de l'étude de leurs enclaves. — J'ai établi dans les *roches volcaniques* deux grands groupes, celui des *roches trachytoïdes* et des *roches basaltoïdes*, qui m'ont servi de divisions générales dans le cours de mon mémoire.

Je rappellerai que les *roches trachytoïdes*, généralement de couleur claire, renferment toutes les roches à orthose et les plus acides des roches à feldspath triclinique; ce sont

1. Le nom de *porphyre* est généralement employé pour désigner les *rhyolites* antetertiaires, celui de *dacite* pour spécifier des *microgranulites* et des *rhyolites* tertiaires, riches en feldspath triclinique du second temps de consolidation.

donc les *trachytes*, les *phonolites*, les *leucitophyres*, les *andésites*, les *téphrites* et les *leucotéphrites les plus acides*, avec, en outre, les *rhyolites* et les *dacites*.

Les *roches basaltoïdes* sont constituées par toutes les autres roches volcaniques, elles sont généralement de couleur foncée et dépourvues d'orthose microlitique.

Cette division est surtout utile pour l'étude des enclaves énallogènes.

Dans le deuxième chapitre de ce résumé de mon travail, j'ai, en outre, établi une autre division permettant de mettre en lumière les analogies et les différences présentées par les enclaves homœogènes des diverses roches. Cette division est basée sur la nature des éléments blancs de la roche volcanique; la considération des roches trachytoïdes et des roches basaltoïdes n'intervient plus que comme distinction secondaire.

1° Famille des roches à feldspaths seuls.

a) *Série trachytoïde.* — Trachytes, andésites acides.

b) *Série basaltoïde.* — Andésites augitiques, labradorites, basaltes.

2° Famille des roches à feldspaths accompagnés de feldspathoïdes.

a) *Série trachytoïde.* — Trachytes sodiques à haüyne, sodalite ou leucite, phonolites, leucitophyres, téphrites et leucotéphrites acides.

b) *Série basaltoïde.* — Téphrites et leucotéphrites basiques.

3° Famille des roches à feldspathoïdes seuls.

a) *Série basaltoïde.* — Néphélinites, leucitites, basaltes mélilitiques.

4° Famille des roches sans éléments blancs.

a) *Série basaltoïde.* — Augitites, limburgites, etc.

Divisions établies parmi les enclaves des roches volcaniques. — J'ai montré en commençant que les enclaves des roches volcaniques pouvaient être divisées en deux groupes distincts, les *enclaves énallogènes* et les *enclaves homœogènes*[1].

Les premières sont constituées par des fragments de roches quelconques, arrachées aux cheminées souterraines par le magma volcanique au moment de sa venue au jour. Leur étude permet de faire l'histoire du *métamorphisme des roches volcaniques.* C'est la question que je vais résumer dans le chapitre premier.

Les secondes sont formées par des produits généralement grenus, en rapports étroits avec la roche volcanique englobante. La discussion des relations existant entre les enclaves homœogènes et les roches qui les renferment constituera mon second chapitre.

Divers genres de gisements des enclaves. — Toutes les catégories d'enclaves peuvent se rencontrer dans deux conditions différentes. Ou bien ces enclaves sont englobées dans la *roche volcanique* massive en place (dykes, filons coulées, etc.), ou bien elles se rencontrent en blocs détachés au milieu des *tufs de projection.*

Dans ce dernier cas, tantôt on les trouve sans relations apparentes avec les fragments de roches volcaniques, de ponces ou de scories qui les entourent, tantôt, au contraire, on les voit intimement associées avec eux. Dans les tufs des roches basiques, ces enclaves sont souvent entou-

1. Il y aurait lieu de tenir compte des enclaves de roches volcaniques provenant d'éruptions antérieures à celle qui a amené au jour la roche englobante : ces roches volcaniques peuvent être semblables à cette dernière, ou en être différentes. L'intérêt qui s'attache à ces enclaves concerne surtout la géologie locale, aussi ne les ai-je considérées qu'au point de vue des modifications qu'elles ont pu subir de la part de la roche englobante et, par suite, je les ai rattachées aux enclaves énallogènes.

rées d'une couche de matière fondue et forment fréquemment le centre d'une *bombe volcanique.*

Quand les enclaves sont sans relations de contact avec des fragments des roches volcaniques des mêmes tufs, il peut en résulter de grandes difficultés d'interprétation si ces tufs contiennent en forte proportion des roches volcaniques de composition différente. Les tufs leucitiques et trachytiques de l'Italie méridionale et centrale en sont un exemple.

D'une façon générale, les gisements les plus riches en enclaves sont les tufs résultant de violentes éruptions, qui ont permis la sortie *rapide* d'une grande quantité de matériaux amenés de la profondeur et ont en même temps énergiquement raboté les parois des cheminées volcaniques (les tufs basaltiques du Velay, ceux des Maare de l'Eifel, par exemple) : ces tufs renferment d'ordinaire à la fois des enclaves énallogènes et des enclaves homœogènes.

Cette règle souffre des exceptions, parmi lesquelles je citerai le volcan basaltique de la Deniso, près du Puy, qui est le gisement le plus riche que je connaisse en enclaves énallogènes (gneiss, granulite), et qui, cependant, ne renferme pas d'enclaves homœogènes (nodules à olivine), si fréquentes dans tous les gisements analogues de la même région.

Dans un même gisement, les enclaves recueillies présentent des modifications d'une intensité très variable : je donnerai plus loin l'explication de ce fait.

CHAPITRE I

ENCLAVES ÉNALLOGÈNES

(Contribution à l'étude du métamorphisme dû aux roches volcaniques.)

I. Généralités.

Avant d'aborder l'étude particulière des enclaves énallogènes des roches basaltoïdes, puis des roches trachytoïdes, il est utile d'appeler l'attention sur quelques faits communs à toutes les catégories d'enclaves.

Roches exceptionnelles rencontrées parmi les enclaves. — Le lecteur a été frappé sans doute de la fréquence, parmi les enclaves de la plupart des régions volcaniques, d'un certain nombre de roches souvent peu abondantes en place dans les régions considérées ou même y manquant complètement.

Au nombre de ces roches, il y a lieu de citer celles qui renferment en abondance de la *cordiérite*, de l'*andalousite,* de la *sillimanite*, du *zircon*, du *corindon*, du *diaspore.* Dans plusieurs cas, quelques auteurs ont même cru que certains de ces minéraux étaient dus à l'action du magma volcanique sur des roches enclavées. Par de très nombreux exemples, j'ai pu montrer notamment l'identité des roches à cordiérite, enclavées dans les basaltes, les trachytes, ou les andésites (Plateau Central de la France, en particulier [1]) avec de véritables granulites, gneiss ou schistes anciens à cordiérite et andalousite. Dans chaque cas, des modifica-

1. P. 73, 96, 176, 187, 193, 201, 206, 209, 210, 213, 215, 218, 220, 223, etc.

tions souvent intenses peuvent être constatées dans ces roches, modifications dues à l'action du magma volcanique, mais n'ayant en rien produit les minéraux spéciaux (cordiérite et silicates d'alumine) qui font l'objet de la discussion.

Il en est de même pour les cristaux de zircon et de corindon qui se trouvent en si grande abondance dans les tufs de la Haute-Loire[1], dans les ruisseaux qui les ont lavés et aussi dans des roches basiques en coulée. La nature exogène de ces minéraux ne peut être mise en doute, car on les retrouve parfois engagés dans des granulites, en enclaves dans les mêmes tufs ou dans les mêmes roches volcaniques.

Toutes ces roches ont été arrachées au substratum de terrains anciens qui supporte les roches volcaniques. Tantôt, comme dans la Haute-Loire et le Puy-de-Dôme, on connaît en place des roches analogues à celles qui se trouvent en enclaves, mais elles sont beaucoup moins fraîches. Dans ce cas, la profondeur du gisement originel explique pourquoi la cordiérite[2] ou les feldspaths[3] enclavés sont absolument privés des altérations atmosphériques qui ont modifié les minéraux similaires des roches affleurant dans la région. Tantôt, au contraire, ces roches sont inconnues en place, ou bien parce qu'elles sont recouvertes d'un épais manteau de roches sédimentaires ou volcaniques (l'examen de ces enclaves donne alors de précieux documents à la géologie locale pour la connaissance des parties profondes du sol)[4], ou bien parce qu'elles ne constituent dans les formations connues dans la région que des accidents pétrographiques qui n'y ont pas encore été reconnus

1. p. 87.
2. Granulite à cordiérite des environs du Puy, p. 95.
3. Feldspath et granulite de Montaudou, p. 65.
4. Schiste à andalousite, sillimanite de l'Eifel, p. 201, du Siebenge-

in situ[1]. Si ces roches sont aussi fréquentes en enclaves, c'est qu'elles renferment des minéraux, comme la cordiérite, l'andalousite, la sillimanite, le zircon, etc., qui résistent à l'action ou de la chaleur ou des divers magmas volcaniques et qui par suite, restent intacts, alors que les roches qui en sont dépourvues sont détruites.

Inclusions secondaires. — La plupart des minéraux renferment des *inclusions primaires* (vitreuses, liquides ou gazeuses, suivant leur origine). Lorsque ces minéraux font partie d'une roche enclavée par un magma volcanique, leurs inclusions primaires sont souvent modifiées et à côté d'elles, se développent des inclusions *d'origine secondaire.* Ce sont, bien entendu, ces dernières seulement qui nous intéressent pour l'instant. Comme des faits de ce genre s'observent aussi bien dans les enclaves des roches trachytoïdes que dans celles des roches basaltoïdes, je traiterai ici ce sujet afin de n'être pas obligé d'y revenir.

L'observation des enclaves des roches volcaniques montre que très fréquemment leurs divers éléments constitutifs et particulièrement leurs feldspaths se chargent d'inclusions gazeuses qui peuvent devenir suffisamment abondantes pour rendre le minéral tout à fait trouble, même en lames minces. Ce phénomène est dû à l'action de la chaleur ; il est facile de s'en assurer par l'expérience suivante que j'ai réalisée notamment avec de l'orthose. Des fragments de clivage de ce minéral, placés dans un creuset de platine, ont été chauffés dans un fourneau Forquignon et Leclerc et maintenus pendant une heure à une température voisine de celle de leur fusion, les clivages

birge, p. 206, des M[ts] Euganéens, p. 219, granite du Vésuve, du lac de Vico, etc.

1. Granulite à gros grains de Montaudou, p. 64, gneiss granulitique à diaspore de Bournac, p. 99, norites ou gneiss à pyroxène de divers gisements, p. 129, etc.

s'ouvrent largement, les fragments se gondolent sans fondre. Le minéral devenu laiteux est criblé d'une quantité formidable de petits pores à gaz, tout à fait identiques à ceux des minéraux anciens d'un grand nombre des enclaves étudiées dans ce mémoire et particulièrement de celles des tufs basaltiques.

Dans quelques enclaves, on voit que ces inclusions gazeuses secondaires ont été remplies de liquide[1] (inclusions liquides à bulle mobile), sans doute par la condensation dans l'enclave de la vapeur d'eau qui a accompagné l'éruption.

Le phénomène le plus général consiste dans le développement d'inclusions vitreuses avec ou sans bulle, avec ou sans cristaux (magnétite, spinelle, pyroxène, etc.).

Ces inclusions peuvent avoir trois origines différentes. Elles peuvent provenir de la fusion partielle du minéral qui les renferme (inclusions vitreuses du diopside des nodules à olivine, etc.), ou bien résulter de la fusion d'inclusions de minéraux plus fusibles que le minéral qui les contient (inclusions vitreuses avec spinellides provenant de la fusion de paillettes de mica dans le quartz des roches granitiques enclavées dans le basalte) ou de minéraux devenus fusibles grâce à leur contact avec le minéral enclavé qui leur sert de fondant.

Enfin elles peuvent avoir été formées par l'imbibition du minéral qui les renferme par de la matière vitreuse, provenant soit des éléments voisins plus fusibles de l'enclave, soit du magma volcanique lui-même.

Dans ces trois cas, ces inclusions peuvent avoir des formes géométriques en rapport avec la symétrie du cristal qui les renferme. Ce sont de véritables figures de

1. Enclaves des tufs basaltiques de la Denise, p. 87, des andésites de Boué, p. 192.

corrosion, produites soit par la fusion du minéral (seul, dans le premier cas), soit par sa fusion locale avec fondant (dans les deux derniers cas).

Ces divers modes de formation des inclusions vitreuses secondaires sont bien connus aujourd'hui, grâce à l'étude directe des enclaves, grâce aussi à d'intéressantes expériences effectuées par MM. Becker [1], de Kroustchoff [2], Dœlter et Hussak [3], expériences dans lesquelles ces savants ont porté à une haute température diverses roches ou minéraux en présence de roches volcaniques fondues.

L'existence d'inclusions vitreuses dans un minéral englobé dans un magma fondu ne prouve rien au sujet de son origine, endogène ou exogène, puisque les minéraux formés normalement dans ce magma peuvent contenir de semblables inclusions primaires, alors que le même minéral plongé accidentellement dans le magma fondu peut se charger des mêmes inclusions, mais par voie secondaire.

Il n'en sera plus de même pour les inclusions gazeuses; on peut voir, en effet, dans les enclaves des andésites de Boué de Menet, dans les basaltes du Plateau Central, les feldspaths enclavés devenir extrêmement riches en pores à gaz qui n'existent pas normalement dans les feldspaths indigènes de la roche volcanique. Ces pores à gaz sont les témoins de la haute température à laquelle l'enclave a été portée par suite de son englobement par la roche volcanique.

Raisons pour lesquelles, dans ce mémoire, les enclaves des roches volcaniques postcrétacées ont été seules consi-

1. *Zeitschr. d. d. geol. Gesell.*, XXXIII, 40, 1881.
2. *Tschermak's min. u. petr. Mittheil.*, IV, 473, 1882; VII, 64, 1885 et *N. Jahrb.*, 1886, I, 52.
3. *N. Jahrb.*, 1884, I, 40.

dérées. — Les roches volcaniques et, d'une façon plus générale, toutes les roches éruptives antetertiaires non quartzifères renferment des enclaves énallogènes aussi bien que les roches similaires plus récentes. J'ai cru cependant devoir limiter mon travail à ces dernières à cause des difficultés d'interprétation que présentent souvent les enclaves des roches anciennes. Elles ont été modifiées de la même façon que les enclaves des roches volcaniques récentes, mais elles ont, en outre, subi des phénomènes d'*altération* secondaire, qui, se superposant aux phénomènes métamorphiques, les ont souvent rendues méconnaissables.

Inégalité des phénomènes métamorphiques subis par les enclaves d'un même gisement. — Les enclaves énallogènes recueillies, soit dans les tufs, soit dans les laves massives d'un même gisement, présentent souvent des degrés très différents de transformation. Les unes peuvent être totalement modifiées, alors que les autres sont intactes.

On comprend aisément que ces enclaves ne proviennent pas toutes du même point de la cheminée volcanique : elles ont été arrachées ou englobées par le magna volcanique, dans des conditions différentes, et par suite, l'intensité de leurs modifications ne peut être que différente.

II. Roches basaltoïdes.

Caractères des modifications métamorphiques exercées par les roches basaltoïdes. — La caractéristique des phénomènes métamorphiques, exercés par les roches basaltoïdes sur leurs enclaves, consiste dans ce qu'ils sont surtout d'ordre physique et que les transformations chi-

miques, quand elles existent, ne se sont effectuées qu'au contact immédiat de l'enclave et de la roche englobante.

Nous aurons donc à considérer séparément : 1° les phénomènes indépendants de l'action chimique du magma volcanique; 2° les phénomènes qui, au contraire, en dépendent.

Les premiers consistent en des modifications dans la cohésion de la roche et parfois dans les propriétés optiques des minéraux la constituant, en une fusion plus ou moins complète de l'enclave, suivie de solidification, qui est accompagnée ou non de recristallisation.

Les modifications chimiques effectuées par la roche volcanique sont dues au mélange plus ou moins intime de celle-ci avec l'enclave dans la zone de contact, mélange facilité quelquefois par une véritable imbibition par le magma fondu de la roche englobée.

On conçoit dès lors que si les phénomènes d'ordre physique s'observent aussi bien dans les blocs d'enclaves énallogènes compris dans les tufs de projection que dans ceux qui sont englobés dans des coulées compactes, il n'en sera plus de même pour les phénomènes d'ordre chimique qui, nécessitant un séjour prolongé au contact de la roche volcanique fondue, seront surtout intenses dans les échantillons recueillis dans les coulées.

Ceci posé, on peut admettre les principes suivants, communs à tous les genres de modifications que nous allons avoir à considérer dans les enclaves énallogènes des roches basaltoïdes.

Les modifications subies par une enclave dépendent :

1° De sa composition minéralogique qualitative et quantitative ;

2° De la température maximum à laquelle elle a été portée;

3° De la fusibilité plus ou moins grande de ses éléments constitutifs;

4° De son volume;

5° De la vitesse de son refroidissement;

Dans le plus grand nombre de cas, ces modifications sont indépendantes de la constitution chimique de la roche basaltoïde englobante.

Influence de la composition de l'enclave. — L'influence de la composition de l'enclave sur les modifications qu'elle subit n'a pas besoin d'être démontrée. Des fragments de quartz, de calcaire ou de gneiss ne pourront, en effet, donner par leur transformation que des produits différents.

De même, dans le cas d'un gneiss, les produits résultant de la fusion auront forcément une composition différente, suivant que ce sera le mica, le feldspath ou le quartz qui prédominait dans la roche antérieurement à sa transformation.

Influence de la fusibilité des éléments de l'enclave. — La même observation peut être faite au sujet de l'influence de la fusibilité des éléments de l'enclave. Un gneiss très micacé, englobé par un basalte ou arraché par une grande explosion volcanique, fondra évidemment plus vite qu'un quartzite ou qu'une leptynite à diaspore semblable à celle de Bournac. Il y a lieu du reste de tenir compte non seulement de la fusibilité absolue des éléments faisant partie de l'enclave, mais encore de leur fusibilité relative, quand ils sont agrégés pour former une roche. C'est ainsi que fort souvent, dans une enclave de gneiss ou de granite, on constate que les feldspaths ne sont fondus qu'à leur contact avec le mica, ce dernier minéral leur ayant servi de fondant. De même, des enclaves de quartzites calcifères renferment parfois des cristaux de wollastonite

dans les points où les grains de quartz étaient en contact avec de la calcite, alors que le reste de la roche, purement quartzeux, est intact.

Influence de la température maximum à laquelle l'enclave a été portée. — Dans les roches comme les quartzites, formées par un seul minéral, la fusion ne pourra se produire que si la température a atteint au minimum la température de fusion du minéral constituant. Mais dans une roche composée de plusieurs éléments, telle qu'un granite, les modifications subies seront très différentes, suivant que la température aura été suffisante pour fondre seulement le mica, ou bien le mica et le feldspath, ou enfin la roche entière. Elles seront différentes non pas seulement à cause de la disparition d'un plus ou moins grand nombre des éléments de la roche, mais encore parce que le verre résultant de la fusion, ayant une composition différente, donnera, s'il cristallise, des produits différents.

Les roches arrachées à une grande profondeur et dans de grandes explosions sont portées à une très haute température : c'est ainsi qu'à la Denise, on rencontre des blocs de gneiss entièrement transformés en scories bulleuses. Quand, au contraire, les roches projetées ont été arrachées près de la surface, la température à laquelle elles ont été portées a pu n'être pas très considérable et il arrive souvent dans ces conditions que les modifications sont nulles ou très faibles; dans les brèches basaltiques du Velay, par exemple, on trouve des fragments de granulite à cordiérite recouverts ou imbibés de verre basaltique et dont cependant les feldspaths sont intacts; les éléments très fusibles, tels que le mica et le grenat ont seuls été transformés. La température du magma fondu au moment, où l'englobement a eu lieu, était plus basse que dans le cas

précédent, et l'enclave y a séjourné trop peu de temps pour qu'elle ait pu être altérée notablement.

Ce qui vient d'être dit sera vrai *a fortiori* pour les roches enclavées dans un magma fondu. Si elles ont été englobées très profondément, à un moment où le magma était à une température très élevée, et, par suite, très fluide et très bon conducteur de la chaleur, les modifications seront intenses, tant aux points de vue physique que chimique : l'enclave pourra même être résorbée, grâce au renouvellement des surfaces de contact avec le magma volcanique, déterminé par la mobilité de celui-ci pendant l'ascension dans les canaux souterrains et pendant son épanchement.

Lorsque, au contraire, ces mêmes roches sont englobées près de la surface au moment de la sortie de la lave, cette dernière est beaucoup moins fluide; elle est bientôt formée par une sorte de boue de cristaux, charriés par un résidu visqueux en voie de cristallisation. Sa température s'abaisse rapidement, sa conductibilité s'affaiblit, elle perd peu à peu son action calorifique Dans ces conditions, les enclaves ne sont souvent fondues qu'à leur périphérie. La roche volcanique ne peut plus lés résorber, mais seulement modifier le verre résultant de leur fusion.

On conçoit dès lors que, dans une coulée donnée, les enclaves soient généralement d'autant plus abondantes que l'on se rapproche davantage de la bouche de sortie et d'autant plus modifiées que l'on s'en éloigne davantage : l'influence de la vitesse du refroidissement se fait, du reste, énergiquement sentir.

Influence du volume de l'enclave. — La plupart des roches que nous avons à considérer à l'état d'enclaves énallogènes sont mauvaises conductrices de la chaleur et, surtout dans le cas des enclaves des tufs de projection, elles n'ont été souvént que peu de temps soumises à l'influence

de la chaleur, aussi les phénomènes dont elles sont le siège sont-ils, toutes conditions égales d'ailleurs, d'autant plus intenses [1] que leur volume est plus petit.

Influence de la vitesse du refroidissement. — Les conditions dans lesquelles s'est effectué le refroidissement ont une grande influence sur le résultat final que nous avons à étudier. Ce que nous savons sur la cristallisation des verres en donne, du reste, l'explication. Un verre ayant une composition convenable cristallise, en effet, d'autant mieux que son refroidissement est plus lent.

On conçoit donc pourquoi un bloc de granulite, porté à l'énorme température nécessaire pour le transformer en une ponce légère et refroidi brusquement par sa projection dans l'atmosphère, restera à l'état vitreux, tandis qu'un fragment de la même roche, englobé par une coulée de lave de la même éruption, pourra fondre non moins complètement, mais donnera un produit dont la cristallinité plus ou moins grande dépendra de la lenteur de son refroidissement qui est lié à celui de la roche volcanique.

Indifférence de la nature de la roche balsaltoïde enclavante sur les modifications subies par les enclaves. — La nature de la roche basaltoïde a peu d'influence sur les modifications subies par ses enclaves. En effet, parmi les conditions énumérées plus haut, dont dépendent la nature et l'intensité du métamorphisme de l'enclave, la température maximum à laquelle cette dernière a été portée et la vitesse du refroidissement (dans le cas des enclaves entourées par la lave) sont seules en dépendance avec la roche volcanique; elles dépendent non de sa composition, mais de sa température au moment de l'englobement. Les diffé-

1. L'intensité des phénomènes calorifiques subis par les enclaves a été parfois très grande; c'est ainsi qu'à la Denise on trouve des blocs de gneiss fondu atteignant un mètre cube.

rences existant entre la fusibilité des diverses roches basiques sont négligeables dans le cas qui nous occupe, car les enclaves ont été englobées dans tous les cas à une température supérieure à celle qui est nécessaire pour fondre la roche volcanique ou tout au moins pour la rendre plastique; cette température, au moment de l'enclavement, peut être la même dans des éruptions de roches différentes. Toutes les roches volcaniques basaltoïdes ont été émises à une haute température à laquelle elles étaient très fluides, grâce à leur facile fusibilité : par suite de cette fluidité, le contact du magma fondu avec ses enclaves a pu toujours être intime, c'est ce qui a permis la production des modifications chimiques effectuées à la périphérie des roches englobées.

Les phénomènes chimiques qui s'observent au contact d'un fragment de *granite* enclavé dans un *basalte*, une *téphrite*, une *néphélinite* ou un *basalte mélilitique* sont très analogues, parce que, généralement, il y a peu d'apport dans l'enclave de la part de la roche volcanique et que, lorsque cet apport a lieu, il consiste en ce que les divers magmas basiques ont de commun et non en ce qu'ils ont de différent. Il y a surtout apport de pyroxène, de spinellides, plus rarement de biotite, etc. Les différences qui peuvent être observées se rencontrent plutôt dans les phénomènes endomorphes subis par la roche volcanique; encore sont-ils peu caractéristiques.

Modifications indépendantes de l'action chimique du magna volcanique.

Ainsi que je l'ai établi plus haut, ces modifications sont d'ordre physique. Les réactions chimiques pouvant se produire dans l'enclave résultent de l'action réciproque des produits de la fusion de ses éléments.

Modifications visibles sans le secours du microscope. — Quand une roche est englobée dans un magma à haute température ou arrachée des profondeurs par une grande explosion volcanique, elle peut subir des modifications dans sa cohésion et sa structure, visibles sans le secours du microscope; elle est généralement étonnée, ses éléments constitutifs sont disjoints. Ces phénomènes sont fréquents, et dans beaucoup de gisements, des blocs de gneiss ou de granite originellement très tenaces tombent en arènes au moindre choc du marteau (Denise)[1].

Dans d'autres cas, au contraire, le phénomène inverse se produit; lorsque la fusion a commencé, le verre formé sert de ciment aux éléments intacts, et la roche devient beaucoup plus résistante qu'elle ne l'était à l'état normal. Tel est le cas des quartzites et des micaschites, englobés dans le basalte porphyroïde de Thiézac[2] et surtout des enclaves de grès des roches basaltiques d'Allemagne[3]; ces dernières deviennent parfois très dures (buchite, basalt-jaspis) et présentent souvent une structure de *retrait columnaire*, semblable à celle de la roche englobante[4].

Quand la fusion est plus complète, l'enclave peut être entièrement vitrifiée. Si cette fusion s'est effectuée tranquillement, au sein d'une coulée par exemple, l'enclave est alors transformée en une masse analogue au verre à bouteille[5]. Lorsque la fusion s'est, au contraire, opérée dans la cheminée volcanique au milieu de gaz et de vapeurs,

1. p. 87.
2. p. 83.
3. p. 35, etc.
4. En 1778, Faujas de Saint-Fond avait remarqué au pont du Bridon, près Vals, que des enclaves granitiques étaient parfois partagées en deux parties, englobées dans deux prismes basaltiques contigus : il en avait conclu que ces prismes étaient des solides de retrait, et non des cristaux (*Recherches sur les volcans éteints du Vivarais..., Mémoire sur le basalte*, p. 150).
5. p. 36, 101 et 121.

le verre est bulleux et parfois même constitué par une ponce légère ; ce cas s'observe surtout dans les bombes des tufs de projection [1].

Enfin, les enclaves calcaires sont généralement calcinées, elles présentent des fentes de retrait, analogues à celles des fragments de chaux extraits d'un four à chaux. Elles conservent souvent un aspect terreux, bien que le plus souvent, elles se recarbonatent à l'air ou se tranforment sous l'action des gaz ou vapeurs ayant accompagné ou suivi l'éruption [2]. Dans d'autres cas, les enclaves calcaires sont transformées en marbre.

Examen analytique de l'action de la chaleur sur les enclaves :

Modifications subies par les minéraux des enclaves considérés individuellement. — Si l'on veut se rendre compte des phénomènes produits par l'action de la chaleur sur les enclaves, il y a lieu d'étudier tout d'abord comment les minéraux qui les constituent se comportent individuellement, c'est-à-dire indépendamment des substances voisines qui peuvent leur servir de fondant, ou tout au moins modifier par le mélange de leurs produits fondus la nature des éléments recristallisés.

Les résultats de cette étude seront d'un grand secours lorsqu'il faudra, dans une enclave modifiée, faire la part de la chaleur et celle du magma volcanique.

Minéraux infusibles ou peu fusibles. — Parmi les éléments des roches que l'on observe en enclaves, il en est un certain nombre qui sont infusibles par eux-mêmes. Tels sont : le *zircon*, le *corindon*, le *diaspore*, la *sillimanite*, l'*andalousite*, le *rutile* ; ils sont toujours intacts et se chargent seulement parfois d'inclusions vitreuses ; ils

1. p. 87.
2. p. 144.

constituent le résidu ultime des enclaves fondues et résorbées. La roche volcanique et surtout les tufs volcaniques s'enrichissent ainsi en minéraux divers par la destruction d'une grande quantité de roches anciennes. Les gisements célèbres du Velay (Espaly, le Coupet, le Croustet)[1], de la Prusse rhénane (Niedermendig)[2], etc., sont les plus beaux exemples que l'on puisse citer à ce point de vue.

A côté de ces minéraux infusibles, il y a lieu de citer la cordiérite qui ne fond qu'à une température élevée, et qui, dans tous les cas, reste intacte au milieu des enclaves dans lesquelles elle est parfois abondante (Haute-Loire)[3]. De même, l'apatite se charge d'inclusions vitreuses, mais disparaît rarement.

Minéraux fusibles. — Le *quartz* est l'élément le plus fréquent que nous ayons à considérer. Sous l'action de la chaleur, ses inclusions liquides se vident; quand il fait partie d'une enclave fondue, il se charge parfois d'inclusions vitreuses, d'inclusions gazeuses, quelquefois remplies postérieurement par des liquides; enfin il peut fondre plus ou moins complètement. Le plus souvent, on ne constate pas de produits de recristallisation.

Dans plusieurs établissements métallurgiques et dans des fours de verriers, où des briques quartzeuzes avaient été portées à une haute température, divers observateurs ont signalé la transformation du quartz en tridymite[4]. Dans la nature, les faits semblables sont peu fréquents[5], et je ne les ai jamais rencontrés dans les innombrables enclaves quartzeuses que j'ai eu l'occasion d'étudier dans les roches basiques du Plateau Central. Il semble que la

1. p. 87, 98, etc.
2. p. 115, etc.
3. p. 95.
4. Mallard, *Bull. Soc. minér.*, XIII, 72, 1890, et ce mémoire, p. 170.
5. p. 41, etc.

production abondante dans ces enclaves de la tridymite et *a fortiori* du quartz nécessite l'intervention de minéralisateur et en particulier de la vapeur d'eau. Les cavités des enclaves, en partie résorbées, de grès et de roches quartzo-feldspathiques de Mayen, etc., sont tapissées de cristaux de *tridymite*, intimement associés à des cristaux de *quartz*, de *christobalite*[1]; les mêmes phénomènes s'observent notamment dans les enclaves de grès des néphélinites

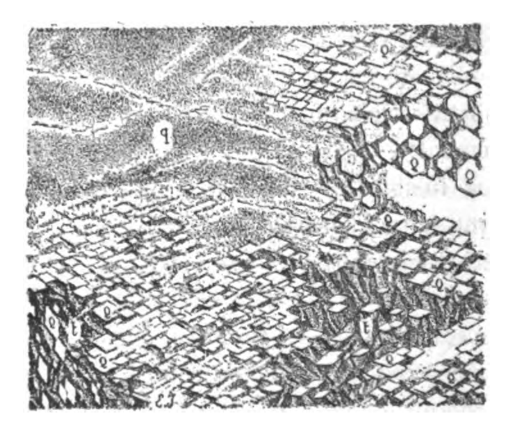


Fig. 35. — Quartz L Q et tridymite Ct recristallisés et formés aux dépens d'un fragment de quartz ancien (q), enclavé dans néphélinite d'Hannebacher Ley 2.

d'Hannebacher Ley, bien connues par les travaux de M. J. Lehmann. La fig. 35 représente un échantillon de quartz ancien renfermant du quartz et de la tridymite néogènes moulés par du verre[2]. Il est intéressant de voir associées dans un même gisement les trois formes de la silice : quartz, tridymite et christobalite, qui se forment normalement à des températures différentes. Il est probable que ces cristallisations se sont produites aux alentours de

1. p. 31.
2. Cette figure a été livrée trop tard pour être placée page 33, où elle devait se trouver.

1000°, température au dessous de laquelle la tridymite ne se forme plus, au dessus de laquelle le quartz ne saurait cristalliser. Des variations de température peuvent expliquer la production successive de ces deux minéraux. Ce quartz néogène présente des rhomboèdres aigus e^5 $(20\bar{2}1)$ de même que le quartz obtenu par M. Hautefeuille par fusion de la silice dans du tungstate de soude; dans cette expérience, en élevant la température au dessus de 900°, c'est de la tridymite qui se forme. Le même savant a obtenu à la fois le quartz et la tridymite en employant les phosphates alcalins comme fondant[1].

Les *feldspaths* sont plus fusibles que le quartz, ils disparaissent bien avant lui dans les enclaves en voie de fusion. Avant de fondre, ils se chargent le plus souvent d'inclusions gazeuses, d'inclusions vitreuses. Dans quelques enclaves ils présentent, en lumière polarisée parallèle, l'apparence d'un fragment de glace immergé dans un verre d'eau qui devient de moins en moins apparent, au fur et à mesure qu'il diminue d'épaisseur. L'orthose subit en outre des modifications dans ses propriétés optiques; le plan des axes optiques est originellement perpendiculaire à g^1 (010). Dans les enclaves soumises à une haute température, les axes optiques sont presque réunis; le minéral est souvent presque à un axe, alors que d'autres fois les axes optiques sont faiblement ouverts dans un plan parallèle à g^1 (010) (*orthose déformée*). Ces faits sont conformes aux expériences de M. des Cloizeaux qui a montré comment ces phénomènes se produisent, dans l'ordre qui vient d'être indiqué, au fur et à mesure que l'on soumet une orthose à une température

1. *C. Rendus*, LXXXVI, 1133, 1878. MM. Friedel et Sarrasin ont obtenu aussi simultanément le *quartz* et la *tridymite*, mais par *voie humide* et à une température inférieure au rouge sombre (*Bull. Soc. min.*, II, 158, 1879).

plus élevée. Ces modifications deviennent permanentes à partir de 900°.

La chaleur détermine généralement la large ouverture des clivages p (001) et g^1 (010) des feldspaths. Tantôt la fusion s'effectue le long de ces clivages, les feldspaths sont ainsi démolis géométriquement en petits solides rectangulaires (Pl. II, fig. 1, Pl. III, fig. 12), tantôt elle se produit d'une façon irrégulière, donnant alors au cristal une apparence chagrinée (Pl. II, fig. 4, 6, 9). Plus rarement les feldspaths fondent sur les bords en dents de scie (Pl. II, fig. 2).

Si les conditions dans lesquelles se trouve l'enclave sont favorables, c'est-à-dire si cellé-ci est englobée dans une roche massive, se refroidissant lentement, et qu'il n'existe pas trop de quartz fondu, les feldspaths peuvent recristalliser soit en cristaux distincts, indépendants, ayant la forme de microlites (Pl. III, fig. 1, 2, 9) ou de grands squelettes cristallitiques dont les formes sont jalonnées par du verre (Pl. III, fig. 11, structure en cassettes), soit en aiguilles cristallitiques s'orientant sur les fragments anciens (Pl. II, fig. 10, 12, Pl. III, fig. 4), en sphérolites (Pl. II, fig. 3), en plages irrégulières sans contours distincts cicatrisant les cristaux anciens (Pl. II, fig. 4) et pénétrant dans leurs moindres fissures, ou enfin en grandes plages granitoïdes quand la recristallisation est totale (Pl. II, fig. 5 et 8). Les feldspaths néogènes sont généralement faciles à distinguer[1] des feldspaths anciens, grâce aux divers minéraux nouveaux qu'ils renferment (pyroxène, etc.). Ces recristallisations de feldspath sont le plus souvent influencées par les produits de fusion des

1. Dans les feldspaths présentant la forme en cassettes, il n'est cependant pas toujours facile de distinguer un cristal en voie de fusion d'un feldspath recristallisé, quand le minéral ne renferme pas d'inclusions d'augite néogène.

minéraux accompagnant le feldspath ancien ; c'est pourquoi, quand il existe plusieurs feldspaths différents dans une enclave, il arrive que le produit de la recristallisation diffère des minéraux primordiaux, sans qu'il soit nécessaire, pour les expliquer, de faire intervenir l'action du magma volcanique englobant.

L'*olivine*, dans les nodules à olivine[1], ne fond que difficilement et recristallise soit sous forme de petits cristaux, le plus souvent allongés, suivant l'arète $h^1 g^1$ (100) (010), soit sous celle de grains sans contours arrondis. Ces cristaux néogènes renferment souvent des inclusions de spinelle, qui manquent à l'olivine primaire.

Les *pyroxènes*, les *amphiboles* et surtout le *mica*, présentent des modifications plus intenses. L'*hypersthène*, subit les mêmes modifications que le pyroxène monoclinique (enclaves de norites et de gneiss pyroxéniques)[2]; tous deux se fendent, fondent sur leurs bords et se transforment en un mélange d'augite, de spinellides (spinelle vert avec magnétite et résidu vitreux) ; tantôt cette augite néogène est distribuée d'une façon quelconque, en grains sans contours, tantôt, au contraire, elle forme des baguettes cristallitiques, orientées en grand nombre sur le minéral ancien, et formant ainsi un squelette de grand cristal (Pl. III, fig. 9). Quand le minéral transformé est de l'hypersthène, l'augite néogène est maclée avec elle suivant la loi ordinaire ; la face g^1 (010) de l'hypersthène étant en coïncidence avec la face h^1 (100) de l'augite.

Ces modifications, sous l'action de la chaleur, s'observent aussi bien dans les pyroxènes des enclaves énal-

1. § IV, p. 129.
2. M. Becker a reproduit cette transformation périphérique de l'hypersthène en fondant et recuisant ce minéral : il a obtenu ainsi de l'hypersthène néogène que je n'ai jamais observée dans les enclaves (*Zeitsch. d. d. geol. Gesellsch.*, XXXVII, 10, 1885).

logènes que dans l'*enstatite* et le *diopside* des *nodules à olivine*, enclavés dans les basaltes. Quand, dans ces nodules, le pyroxène monoclinique fond, la fusion se produit dans divers points du cristal et donne naissance à des taches sinueuses remplies de matière vitreuse.

L'*amphibole* fond d'une façon irrégulière et se transforme de même en cristallites d'augite, régulièrement orientés sur le cristal ancien ; ils sont généralement associés à des produits ferrugineux et à du verre (Pl. VIII, fig. 10 et 12)[1].

Le *grenat almandin* fond facilement, on le trouve en partie transformé dans des enclaves de granulite dont les feldspaths sont intacts. La fusion a lieu soit par la périphérie, soit le long des cassures, le minéral se transforme en produits ferrugineux opaques ou en verre brunâtre riche en spinelle vert ; ce spinelle est disposé d'une façon quelconque, groupé en grappes ou associé à de l'hypersthène, pour former des agrégats cristallitiques et des groupements fibreux rappelant la kelyphite (Pl. III, fig. 3 et fig. 5, page 96). La composition chimique du grenat almandin ne peut pas expliquer la formation d'hypersthène, et il est probable que la présence de ce minéral est liée à celle de biotite, souvent associée au grenat dans les roches présentant les phénomènes qui nous occupent.

La même observation s'applique au cas de transformation du grenat en spinelle, hypersthène et anorthite que j'ai signalée dans une enclave de gneiss du Coupet et qui rappelle un peu le résultat des expériences de fusion de l'almandin, effectuées autrefois par M. des Cloizeaux[2].

1. p. 414.
2. *Manuel de minéralogie*, I, 277, 1862. Dans un échantillon de l'une de ces expériences que je dois à l'obligeance de mon savant maître, j'ai pu constater la formation de grands cristaux d'anorthite, de pyroxène et de superbes dendrites de spinelle.

MM. Doelter et Hussak ont aussi fondu et recuit le même minéral[1]; ils ont obtenu du spinelle, accompagné d'oligiste, de mélilite et d'une néphéline calcique, minéraux que je n'ai jamais observés dans les enclaves que j'ai étudiées.

Quant à la *biotite*, c'est elle qui se modifie avec la plus grande facilité et toujours la première. Elle devient d'abord d'un rouge foncé à éclat cuivré, puis opaque, par suite de la formation d'hématite (rubellane du lac de Laach, de la Denise, etc.); plus tard, elle fond, donnant naissance à des spinellides (magnétite ou spinelle vert, jaune), qui forment soit des agrégats en buisson (Pl. II, fig. 9) quand ils sont très abondants, soit des octaèdres nets, souvent groupés en délicates dendrites. Assez fréquemment, on voit apparaitre en outre, de l'hypersthène, plus rarement de la sillimanite.

La calcite constituant les calcaires est généralement calcinée et transformée en chaux, qui a plus tard absorbé soit l'acide carbonique de l'air pour se retransformer en calcite, soit des produits gazeux (ayant accompagné ou suivi l'éruption) pour donner naissance à divers minéraux secondaires (*ettringite*, *chalcomorphite*, etc.). Je parlerai plus loin des cas de recristallisation des calcaires par fusion.

Modifications subies par les divers types d'enclaves. — Maintenant que les modifications subies par les éléments des enclaves pris individuellement nous sont connues, il sera facile d'interpréter les modifications des enclaves elles-mêmes.

1°. — *Enclaves de grès et quartzites*[2]. — Quand l'enclave est exclusivement formée de *quartz*, elle subit toutes

1. *N. Jahrb.*, 1884, I, 168.
2. § I, p. 17.

les modifications énumérées plus haut à l'occasion de l'action de la chaleur sur le quartz. Dans les *grès*, chaque grain fond par sa périphérie, et les grains intacts sont solidement cimentés par un verre incolore, présentant les mêmes fissures perlitiques que les pechsteins et les perlites. L'enclave ainsi vitrifiée (*buchite*, *basaltjaspis*) offre un aspect vernissé et souvent une structure de retrait columnaire, identique à celle de la roche basique[1]; on observe souvent une même fissure de retrait se prolongeant de la roche volcanique à l'enclave.

Les phénomènes qui viennent d'être passés en revue s'observent dans les briques trop cuites et dans les grès houillers de Commentry fondus par les incendies souterrains. Il suffit de chauffer dans un creuset de platine un fragment de grès pour les reproduire artificiellement.

Enfin, quand la fusion est totale, la roche quartzeuse est transformée en une masse analogue au verre à bouteille, et le plus souvent modifiée par l'action de la roche englobante.

La formation de tridymite dans ce verre est relativement rare (Pl. I, fig. 5); on trouve plus fréquemment ce minéral dans les cavités de ces roches et surtout dans les druses au contact de la roche volcanique (voy. page 570, fig. 35). Elle y est associée quelquefois à du quartz, plus rarement à de la christobalite néogène[2] (voir p. 570).

Si au lieu d'être exclusivement quartzeux, le grès renferme du feldspath, du mica, on observe alors les phénomènes de recristallisation qui seront passés en revue plus loin dans les roches quartzofeldspathiques.

2° — *Enclaves d'argiles et de schistes argileux*[3]. — Ces enclaves sont généralement cuites, recouvertes d'une sorte

1. Hesse, p. 35. (Voir la note 4 de la p. 467.)
2. Région du lac de Laach, p. 30.
3. § II, p. 49.

de vernis formé par leur fusion périphérique ou totale. Ce sont les *porcellanites*, les *thermantides* des anciens auteurs français (Haüy et Cordier), les *basaltjaspis* (*pro parte*) des auteurs allemands.

Au microscope, on constate des modifications assez constantes. Le quartz subit les mêmes modifications que précédemment; l'argile est généralement cuite et dépourvue de produits de recristallisation. Dans un assez grand nombre de gisements [1], on voit se former de fort jolis cristaux de cordiérite, des octaèdres de spinelle, des microlites d'augite. Ces minéraux peuvent, suivant les cas, être interprétés de deux façons différentes. Ou bien ils résultent de l'action exomorphe de la roche volcanique basique, nous aurons plus loin à nous occuper de ces cas particuliers; ou bien et plus souvent, ils sont produits par cristallisation directe du verre, résultant de la fusion de l'enclave. Ce dernier mode de formation est surtout réalisé quand celle-ci renferme de la biotite.

Ces considérations sont justifiées, d'une part par l'observation directe qui permet de montrer qu'il n'y a pas eu communication entre les points riches en cordiérite et le magma volcanique, et de l'autre par des faits que j'ai constatés [2] à Commentry (Allier), à Cransac (Aveyron) et à Epinac (Saône-et-Loire). Dans ces divers gisements, des schistes micacés houillers, fondus par les incendies sou-

1. Eifel p. 50, Laach, p. 53.
2. *C. Rendus*, CXIII, 1060, 1891. Ce mode de formation est fort remarquable. On voit, dans les mêmes gisements et formées dans les mêmes conditions (Mallard, *Bull. Soc. minér.*, IV, 230, 1881), des roches microlitiques à anorthite, pyroxène, rhabdite (se transformant en vivianite par action secondaire) et ne différant en rien de certaines roches volcaniques. J'y ai rencontré souvent aussi de la cordiérite. Ces roches sont remarquables par leur défaut d'homogénéité, dû à ce qu'elles résultent de la fusion sur place, sans brassage, de roches clastiques hétérogènes.
3. § III, p. 54.

terrains, ont donné naissance à des roches de composition minéralogique très variée, parmi lesquelles abondent des roches à cordiérite et spinelle, identiques aux enclaves qui nous occupent, sans qu'il y ait là, bien entendu, intervention d'une roche éruptive quelconque. De même que dans les enclaves, j'y ai rencontré des échantillons rubanés dans lesquels certaines strates, originellement constituées par des schistes riches en mica, renferment en grande abondance de la cordiérite et d'autres minéraux néogènes, alors que les strates voisines, primitivement formées par un grès exclusivement quartzeux, ne contiennent aucun minéral récent.

3°. — *Enclaves quartzofeldspathiques*[3]. — Ces enclaves étant constituées par des *gneiss* et des *granites*, on comprend que ce soient elles qui se rencontrent en plus grande abondance dans une région volcanique telle que le Plateau Central de la France, dont le substratum est granitique et gneissique.

Les modifications et les recristallisations dont les enclaves ont été le siège varient à l'infini, suivant les proportions relatives de leurs principaux éléments et la température plus ou moins élevée à laquelle elles ont été portées; la totalité ou quelques-uns seulement de ces éléments ayant pu être fondus ou altérés.

Non seulement on observe toutes les modifications qui ont été décrites au sujet du quartz, des feldspaths, du grenat et du mica, mais encore on constate l'existence de produits cristallisés, résultant de la réaction mutuelle du verre formé par la fusion de ces divers minéraux.

Si la roche a été simplement calcinée, elle perd de sa cohésion, le mica est rubéfié. Si la température a été plus élevée, les minéraux fondent suivant leur ordre de fusibilité, puis, les produits fondus restent à l'état vitreux

ou recristallisent, suivant la vitesse plus ou moins grande du refroidissement.

Le premier cas s'observe surtout dans les blocs projetés par les grandes explosions; ils sont souvent ponceux.

Dans les enclaves des basaltes massifs, au contraire, la fusion a été ordinairement plus tranquille et quand il n'y a pas de recristallisation, le verre formé est compacte. Dans le cas le plus général, il est possible de suivre pas à pas tous les stades de destruction de l'enclave ainsi que ceux de sa recristallisation.

Les fragments de quartz se comportent comme dans des roches exclusivement quartzifères. Si l'enclave était originellement très riche en quartz, le verre reste plus ou moins amorphe; il présente des cassures perlitiques semblables à celles des enclaves quartzeuses fondues. Est-il moins riche en silice? On y voit apparaître de larges sphérolites feldspathiques troubles, négatifs suivant leur allongement, et identiques à ceux des porphyres pétrosiliceux. Quand le produit fondu est un peu moins acide encore, le feldspath recristallisé affecte la forme de petits microlites à contours frangés, rappelant ceux des trachytes. Enfin, dès que le quartz est rare dans l'enclave ou, ce qui revient au même, dès qu'on se rapproche de la ligne de contact dans laquelle l'influence de la roche basique se fait sentir, le feldspath cristallise sous les formes les plus variées, que nous étudierons avec plus de fruit dans les zones de contact exomorphisées par le basalte.

J'ai pu reproduire une partie de ces phénomènes, dus à l'action de la chaleur seule, en chauffant dans un creuset de platine (au four Forquignon et Leclerc), et à la température du rouge vif, des fragments de granite de Vire. Si l'on fond complètement la roche, le verre est trop acide, un recuit même très long ne donne pas de produits

cristallisés autres que la tridymite en petites lamelles imbriquées. Mais si l'on chauffe un fragment de granite entouré de la même roche pulvérisée et si l'on abaisse la température, quand le granite en poudre est fondu, on peut déterminer des modifications fort intéressantes dans le fragment encore solide et imparfaitement vitrifié. Le quartz reste en partie intact, le feldspath fond progressivement après s'être chargé d'inclusions gazeuses et vitreuses; il présente souvent les phénomènes de démolition rectangulaire. Ses cassures, ses bords se garnissent de petites aiguilles feldspathiques récentes, souvent orientées sur lui. Les formes et l'abondance de ce feldspath néogène varient avec la durée du recuit et avec la nature des minéraux qui, dans le granite intact, englobaient le feldspath transformé. Les recristallisations sont, en effet, surtout abondantes dans le verre brun résultant en partie de la fusion du mica; ce dernier minéral se transforme en spinelle. Il est possible ainsi d'obtenir artificiellement toutes les transformations observées dans les enclaves loin du contact de la roche volcanique.

J'ai pensé qu'il serait intéressant d'examiner comparativement les produits des *forts vitrifiés*[1] qui ont été autrefois décrits par M. Daubrée. Ces forts vitrifiés sont formés par des fragments de *granite*, de *gneiss*, de *quartzite*, de *phyllade*, etc., réunis par l'action de la chaleur. L'examen microscopique a permis à M. Daubrée et à M. Fouqué de voir que les éléments anciens, partiellement fondus, étaient entourés par du verre renfermant souvent des produits cristallisés (spinelles, feldspath triclinique, augite, hypersthène).

1. On connait sous le nom de forts vitrifiés des enceintes ou de simples débris de murs, construits par les anciens et dont les matériaux ont été soudés à l'aide du feu (voir Daubrée : *Revue archéol.*, janv. et juill. 1881).

Les produits que j'ai examinés et que je dois à l'obligeance de M. Œhlert proviennent de Sainte-Suzanne, du Château Maignan, près Saint-Jean-sur-Mayenne (Mayenne) et du camp de Peran, près Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord). Ils sont constitués par des fragments de grès, de gneiss et de granite; les modifications sont du même ordre que celles qui ont été décrites plus haut, soit dans les enclaves, soit dans les produits de mes expériences. Les spinellides et les pyroxènes se sont évidemment formés aux dépens du mica dont on retrouve parfois des squelettes. Les feldspaths se démolissent et recristallisent suivant les modes habituels, tantôt sous forme microlitique, tantôt sous celle de sphérolites. La tridymite est parfois abondante (Château Maignan). Ces recristallisations s'observent surtout quand la fusion de la roche a été incomplète et que le quartz est encore présent. Quand la roche a été entièrement vitrifiée, le verre, trop acide, n'a pu recristalliser. Tous ces phénomènes paraissent indiquer que la fusion de ces forts vitrifiés a été effectuée sans fondants qui, s'ils avaient existé, auraient eu pour résultat de rendre le produit de la fusion moins acide et y auraient déterminé la formation de produits néogènes plus abondants.

4°. — *Enclaves feldspathiques non quartzifères*[1]. — Les *basaltes* et les *tufs basaltiques* du Plateau Central de la France et d'autres régions renferment des enclaves de roches grenues à feldspath basique. On pourrait parfois les prendre pour des roches en relation avec le magma volcanique; cependant j'ai observé leur passage à des roches quartzifères, grenatifères et micacées; dans ce cas, il n'est pas douteux qu'elles soient des roches anciennes, au

1. § IV, p. 129.

même titre que les gneiss et les granites qui les accompagnent. Les modifications observées dans ces roches consistent dans la fusion des pyroxènes (augite et hypersthène) et dans leur transformation en augite microlitique, souvent accompagnée d'olivine allongée suivant l'axe vertical. Dans quelques cas, on observe la fusion du feldspath, accompagnée de recristallisation avec résidu vitreux. (Pl. III, fig. 7, Pl. VIII, fig. 1, 5 et 9.)

J'ai expérimentalement reproduit ces modifications en chauffant un fragment de l'une de ces enclaves[1], de façon à le fondre à demi et en recuisant ensuite le culot. Dans une autre expérience, j'ai réduit la roche en poudre grossière et l'ai fondue de manière à en faire un verre contenant encore en suspension quelques fragments anciens; l'*hypersthène* et l'*augite* ont disparu, un peu de feldspath a subsisté; il est entouré par du feldspath néogène analogue à celui de la fig. 4 de la Pl. III, toutefois avec cette particularité, qu'entre chaque branche de feldspath, se trouvent des microlites d'augite. La roche a la composition et la structure d'une *labradorite augitique*. Les feldspaths néogènes, indépendants des débris anciens ont, aussi une grande tendance à former des squelettes cristallitiques de grands cristaux, associés comme il vient d'être dit au pyroxène[2].

1. Provenant de Chenavari (Ardèche).

2. Pour compléter l'histoire du métamorphisme dû aux roches basaltoïdes et particulièrement en ce qui concerne les phénomènes calorifiques, il y aurait lieu de tenir compte des modifications subies par quelques-unes des enclaves homœogènes ayant formé des roches solides en profondeur. Les modifications subies par les enclaves sont en effet indépendantes de leur origine : une enclave homœogène peut être transformée par le magma qui l'englobe, quand elle est soumise à des conditions différentes de celles dans lesquelles elle a cristallisé. Dans les enclaves qui ont la composition des *diorites diabases* (p. 469), les feldspaths sont quelquefois fondus; l'amphibole est souvent transformée en un mélange d'augite, de produits ferrugineux et

5°. — *Enclaves de calcaires* [1]. — L'action de la chaleur seule sur les calcaires a pour résultat de les calciner et de leur faire perdre plus ou moins complètement leur acide carbonique. Les échantillons fendillés par suite du retrait sont généralement recarbonatés ou transformés, comme il a été dit plus haut, soit par l'acide carbonique atmosphérique, soit par les gaz et vapeurs ayant accompagné l'éruption qui a amené au jour les roches qui nous occupent.

Quelques échantillons englobés par des roches basiques en coulée sont transformés en marbre. Il n'y a pas de doute que ce cas, la recristallisation du calcaire se soit produite par fusion sous pression comme dans l'expérience célèbre de James Hall.

Grâce à une obligeante communication de M. Lechatelier, j'ai pu constater que le calcaire cristallin obtenu récemment par ce savant en fondant de la craie sous pression [2], renferme des inclusions gazeuses, identiques à celles des enclaves du basalte de Rochemaure (p. 150).

de verre. Les minéraux néogènes s'orientent sur les cristaux anciens pour former des squelettes cristallitiques (Pl. VIII, fig. 10). Les mêmes transformations s'observent dans la hornblende et dans la biotite, des *nodules à hornblende et augite* des roches basiques (p. 477).

Enfin, les *nodules à olivine* présentent des phénomènes du même ordre; leurs éléments se chargent d'inclusions vitreuses, puis fondent et recristallisent; le diopside et l'enstatite sont épigénisés par de l'augite, offrant la même disposition que dans les enclaves étudiées plus haut. Il se produit, en outre, des recristallisations de spinelle, d'olivine et, plus rarement, d'anorthite; les minéraux néogènes renferment des inclusions de spinelle qui manquent aux éléments primordiaux. Ces phénomènes, résultant de l'action de la chaleur seule, sont accompagnés de modifications dues à l'action du magma volcanique.

1. § V, p. 144.

2. *C. Rendus*, CXV, 817, 1892.

Modifications dues à l'action du magma volcanique et modifications endomorphes subies par celui-ci.

Les modifications que nous avons à considérer maintenant ne s'observent qu'au contact immédiat de l'enclave et de la roche volcanique. Parfois, il existe entre les deux roches une ligne de jonction extrêmement nette, alors que dans d'autres, il y a, sur quelques millimètres, passage insensible entre elles.

Ces modifications sont surtout intenses dans les enclaves des roches basiques en coulée, car elles sont restées assez longtemps en contact avec celles-ci, et se sont refroidies avec elles. Les modifications sont moindres dans les bombes qui, entourées seulement d'un enduit de verre volcanique, ont été refroidies rapidement; tout naturellement, elles ne s'observent pas dans les blocs projetés dépourvus d'enveloppe de matière volcanique.

Toutes les modifications dues à l'action de la chaleur, sur lesquelles je ne reviendrai pas, se rencontrent, bien entendu, dans la zone de contact et avec une intensité plus grande que dans l'intérieur de l'enclave. Les modifications chimiques, que nous allons passer en revue, se superposent à ces modifications physiques.

Afin d'éviter les redites, je crois inutile d'examiner séparément l'action chimique des magmas basiques fondus sur les minéraux constituant les enclaves : elle se déduit facilement de ce qui va être dit au sujet de ces enclaves elles-mêmes. Je ferai seulement remarquer que les minéraux infusibles (zircon, corindon, diaspore, sillimanite) sont en même temps très réfractaires à l'action chimique des magmas fondus : ils forment ainsi que la cordiérite le résidu ultime des enclaves résorbées.

1° — *Enclaves de roches exclusivement quartzeuses*[1]. — D'une façon générale, un grain de *quartz* englobé dans une roche basique lorsqu'il est plus ou moins fondu, est entouré par une double zone constituée, en allant de l'enclave à la roche volcanique, par du verre ordinairement incolore, puis par des microlites d'augite (fig. 1, p. 19; fig. 2, p. 24, et Pl. I, fig. 1). Ces derniers, généralement implantés normalement à la paroi de contact, ont souvent des formes nettes; ils sont de couleur plus claire que ceux de la roche basique et se transforment fréquemment en œgyrine. Ils sont quelquefois accompagnés de baguettes de feldspath acide, de spinelles. Plus rarement, l'augite forme un tissu serré de fines aiguilles ou est remplacée par de l'hypersthène.

Dans d'autres cas, le grain de quartz est entièrement résorbé, sa place n'est plus indiquée dans la roche volcanique que par de petits noyaux, sortes d'*œillets*, constitués par des microlites enchevêtrés d'augite (fig. 2 à gauche en bas).

Les enclaves de *quartz* sont parfois si abondantes qu'elles semblent également distribuées dans la roche volcanique, à laquelle elles donnent une sorte de structure porphyrique. Ce fait a même tellement frappé MM. Diller et Iddings, que ces savants ont décrit ce quartz comme indigène dans des *basaltes* de l'Ouest américain et comme ayant pu cristalliser dans le magma basique, grâce à des conditions spéciales. J'ai exposé au cours de ce travail[2] les raisons pour lesquelles je ne crois pas possible d'admettre une semblable hypothèse.

Comment expliquer la formation constante de cette couronne d'augite, séparant de la roche volcanique le verre produit par la fusion partielle du quartz?

1. § I, p. 17.
2. p. 43.

Lorsque celui-ci est englobé par la roche volcanique, cette dernière est encore fluide, les microlites sont en voie de formation, le magma basaltique au contact du verre siliceux change de composition ; son acidité ne permet plus la précipitation de la magnétite, la totalité du fer se combinant à la silice. Il y a alors, en ce point particulier, une exagération de la production du pyroxène. Celui-ci a, du reste, une composition différente de l'augite de la roche volcanique ; il est plus ferrugineux et plus sodique ainsi qu'en témoigne sa fréquente transformation périphérique en œgyrine.

Si l'on considère maintenant les enclaves de *grès* ou de *quartzites*, on constate, qu'à leur contact immédiat avec la roche volcanique, il existe généralement une zone d'*augite* qui est tout à fait comparable à la couronne périphérique des grains de quartz englobés dans les mêmes roches, mais souvent aussi le verre basaltique se mélange avec le verre siliceux sur une surface plus ou moins grande et colore celui-ci en brun ou en violacé.

Ce n'est plus, comme dans le cas précédent, l'enclave qui réagit sur le basalte, mais le magma basaltique qui, en s'incorporant en petite quantité dans le verre de l'enclave, le modifie et y détermine la formation de cristaux de *cordiérite*, de *spinelle* et d'un peu de pyroxène monoclinique ou rhombique.

Le mélange est trop riche en silice, trop pauvre en alcalis pour permettre au pyroxène ou au feldspath de se produire. Toute la magnésie et tout le fer qui ne se précipitent pas à l'état de spinelle se combinent alors à la silice pour donner de la cordiérite.

J'ai eu plusieurs fois, au cours de ce travail, l'occasion de montrer la facilité avec laquelle la cordiérite prend naissance toutes les fois que ses éléments constitutifs sont

mis en présence à haute température dans un magma acide, pauvre en alcalis. C'est probablement à la trop grande richesse en alcalis des magmas naturels qu'il faut attribuer l'absence de la cordiérite comme élément constitutif des roches volcaniques. Toutes les fois, en effet, que, dans le verre, résultant de la fusion d'enclaves, il existe une quantité suffisante d'alcalis, l'élément blanc produit est du feldspath.

Quand les fragments de *quartz*, de *grès*, ou de *quartzites* sont entièrement fondus, ils donnent parfois naissanc eà une masse vitreuse, verte ou brune plus ou moins modifiée par la roche volcanique[1]; il s'y développe alors divers minéraux cristallitiques ou microlitiques (spinellides, pyroxène, tridymite, etc.). M. de Kroustchoff a reproduit ces verres en fondant des grès avec des roches volcaniques basiques[2].

Quand l'enclave est de grande taille, il arrive dans certains gisements (Mayen, Niedermendig)[3] que le développement de gaz, accompagnant la fusion et la résorption partielle du fragment englobé, détermine la formation d'une cavité plus ou moins grande, dans laquelle se sont produits des minéraux de sublimation ou de fusion ignée, mais avec intervention probable de la vapeur d'eau sous pression. Ces minéraux sont le pyroxène en petites aiguilles vertes auquel les minéralogistes allemands ont donné le nom de *porricine*, la tridymite et, dans quelques cas, le quartz et la christobalite, dont il a été question page 570, etc.

2°. — *Enclaves d'argiles et de schistes argileux*[4]. — Les enclaves de ce genre subissent des modifications de con-

1. *Tachylites* et *hydrotachylites* du Rossberg, p. 35, etc.
2. *Bull. Soc. minér.*, VIII, 62, 1885.
3. p. 28.
4. § II, p. 49.

tact très analogues à celles qui viennent d'être décrites dans les enclaves exclusivement quartzeuses. On a vu plus haut que dans ces enclaves de schistes, la seule action de la chaleur permet parfois le développement de cordiérite, spinelle, etc. La formation des mêmes minéraux peut, dans quelques cas particuliers, s'expliquer comme pour les enclaves de grès par l'action chimique du magma basaltique.

3°. — *Enclaves quartzofeldspathiques* [1]. — On a vu précédemment que les modifications subies par ces enclaves, sous l'action de la chaleur seule, sont très variées à cause des nombreux minéraux qui entrent dans leur composition.

L'action du magma basique, au contact immédiat, consiste à rendre plus basique le verre résultant de la fusion partielle ou complète de l'enclave; il s'y développe notamment du pyroxène. Plus l'influence de la matière volcanique est grande et plus grande est la basicité du feldspath récent, plus la proportion de pyroxène associé à ce feldspath est considérable. Fréquemment, on voit en outre se produire de l'*ilménite*, de la *biotite*, des *spinellides*, de l'*hypersthène*, etc.

Les phénomènes de recristallisation feldspathique sont surtout intenses quand l'enclave a été fortement modifiée au point de vue chimique, les feldspaths basiques cristallisant plus facilement par fusion ignée que les feldspaths acides. Cette influence de la roche volcanique est frappante quand, dans une large préparation, taillée au contact d'une enclave et d'une roche basaltoïde, on considère des points de plus en plus éloignés de cette dernière.

Les productions cristallines que l'on observe dans ces conditions sont très curieuses à étudier au point de vue

1. § III, p. 54.

minéralogique. On y rencontre, en effet, toutes les formes de cristallites et de microlites, tous les genres de structure, qui existent dans les roches volcaniques ou les roches artificielles les plus diverses (voir Pl. I, II et III).

Ces enclaves recristallisées montrent combien sont nombreuses les formes que peuvent prendre les minéraux d'un même groupe, tel que celui des feldspaths, suivant les conditions du refroidissement et la composition chimique du milieu dans lequel s'effectue la cristallisation.

Quand l'enclave est imparfaitement fondue, on peut observer pas à pas la fusion des feldspaths, leur démolition progressive, accompagnée de recristallisation. Très fréquemment, les fragments anciens servent de point de départ aux cristallisations de feldspaths récents qui s'orientent sur eux. Ces fragments anciens jouent donc le même rôle que les grands cristaux intratelluriques des roches volcaniques qui continuent souvent à s'accroître pendant le refroidissement de la matière fondue et qui sont ainsi formés de zones concentriques dont la composition chimique varie en même temps que celle du magma aux dépens duquel ils s'accroissent. Mais ici, à l'inverse de ce qui s'observe dans les roches volcaniques, les feldspaths récents sont généralement plus basiques que le cristal brisé central.

Quant aux fragments de quartz incomplètement fondus, lorsqu'ils se trouvent dans la zone métamorphisée, ils se comportent comme ceux qui sont englobés par le basalte lui-même ; ils déterminent autour d'eux une véritable précipitation d'augite ; celle-ci, de même que dans les enclaves exclusivement quartzeuses, est plus sodique que l'augite de la roche volcanique et se transforme en œgyrine à sa périphérie.

Quand l'enclave est de petite taille, tous les fragments

anciens ont quelquefois disparu et la roche recristallisée peut être holocristalline et grenue (Pl. II, fig. 5 et 6) ou microlitique (Pl. II, fig. 1 et 9) et n'offrir plus aucune analogie avec celle qui lui a donné naissance (Pl. II, fig. 5 et 6).

Généralement, le contact de l'enclave et de la roche volcanique est net. Les grands cristaux diabasiques de feldspaths néogènes de l'enclave s'appuient sur le basalte englobant. D'autres fois, au contraire, il existe une zone de passage entre les deux roches. Dans d'autres cas enfin, l'enclave est injectée par la roche volcanique. Il arrive souvent alors que l'enclave, rapidement désagrégée, fuse dans la roche basique et se mélange à elle; le produit de la recristallisation est une roche mixte, pauvre en bisilicates, riche en microlites feldspathiques acides, rappelant par leur forme ceux de la pâte de quelques trachytes; ils englobent les fragments encore intacts de l'enclave (Pl. II, fig. 4 et 11), qui simulent parfois des éléments intratelluriques d'une roche volcanique normale.

Ces phénomènes d'endomorphisme de la roche volcanique sont le plus généralement limités à quelques millimètres : je les ai observés en outre dans quelques contacts de basaltes avec des granites en place [1].

En terminant, je signalerai des cas peu nombreux de production de *cordiérite* [2], plus rarement de *sillimanite* dans des enclaves de ce groupe. Cette cordiérite se développe par introduction dans l'enclave d'une petite quantité de verre basaltique; la roche initiale est toujours dans ce cas extrêmement riche en quartz et l'on se trouve ainsi ramené au cas des enclaves quartzeuses, étudiées plus haut. (Pl. I, fig. 4.)

1. Puy de Plantat, p. 65; Fontfreide, p. 69.
2. Thiézac, p. 845. Orgues d'Espaly, p. 105.

De même que pour les enclaves exclusivement quartzeuses, les enclaves quartzofeldspathiques de quelques gisements, une fois emprisonnées dans la roche volcanique ont été le siège de résorption partielle et, à leur contact avec la lave englobante, il s'est formé des cavités que tapissent des cristaux néogènes de feldspath, de pyroxène, de tridymite et de quartz dans la genèse desquels l'eau sous pression semble avoir joué un rôle important[1].

Il y a lieu de faire remarquer que, d'une façon générale, tous les verres résultant de la fusion d'enclaves et particulièrement ceux des roches quartzofeldspathiques sont un lieu d'élection des zéolites (christianite, chabasie, harmotome, etc.) et de divers autres produits secondaires.

4°. — *Enclaves feldspathiques non quartzifères*[2]. — Les enclaves énallogènes de roches basiques, aussi bien que les enclaves homœogènes de composition voisine[3] que j'ai signalées à cette place dans le paragraphe précédent ne m'ont présenté que rarement des exemples de modifications chimiques; quand ces modifications existent, elles consistent dans la pénétration de l'enclave par le verre basique qui recristallise plus largement. L'absence de modifications chimiques énergiques s'explique par la similitude de composition chimique de l'enclave et de la roche englobée.

Les trachytes et andésites englobés dans les basaltes[4] se comportent comme les roches granitiques, mais recristallisent plus facilement, puisqu'elles sont moins acides et dépourvues de quartz.

Les roches volcaniques basiques enclavées ne sont généralement pas transformées. Il y a lieu, toutefois, de faire

1. Région du lac de Laach, p. 112.
2. § IV, p. 129.
3. p. 469.
4. p. 143.

une exception pour des *leucotéphrites* englobées dans les laves du Vésuve (éruptions de 1631 et 1872) et dans lesquelles se sont formés de nombreux minéraux drusiques (sodalite, néphéline, leucite, microsommite, amphibole, pyroxène, grenat, etc.)[1], non plus sous l'action de la chaleur ou du magma fondu, mais par voie de fumerolles, analogues à celles qui caractérisent la venue des roches acides.

5°. — *Enclaves de calcaires*[2]. — Les *calcaires* enclavés par les roches basiques ne présentent souvent que des modifications chimiques peu intenses et limitées à la zone de contact, bien que, dans quelques cas, la transformation soit totale : on a vu plus haut qu'ils sont parfois transformés en marbres très cristallins.

Les minéraux formés sont toujours les mêmes : *pyroxène*, *wollastonite*, *grenat* seuls ou associés, et parfois accompagnés d'*anorthite*, d'un minéral du groupe de la *wernérite* (méionite), de *sphène*. Des zéolites calciques se forment en outre par voie secondaire. Le plus souvent, les roches modifiées présentent une structure finement grenue[3]; ce n'est qu'exceptionnellement que le calcaire est transformé en un agrégat cristallin à grands éléments[4].

Ces produits de transformation sont remarquablement identiques, dans toutes les enclaves, quelle que soit la roche volcanique englobante; ils sont aussi très analogues à ceux que l'on observe dans les enclaves similaires des roches trachytoïdes. Aussi, ayant recueilli beaucoup de documents nouveaux, postérieurement à l'impression du chapitre résumé ici, j'ai cru pouvoir étudier dans un même

1. p. 131.
2. § V, p. 144.
3. Ardèche, p. 145, fig. 10 et 11. Montaudou, p. 151. Essey-la-Côte et Prusse Rhénane, p, 152, etc.
4. Capo di Bove, p. 154

chapitre[1] tous les phénomènes métamorphiques subis par les enclaves calcaires des tufs du Latium et des environs de Naples; qu'ils soient dus à l'action de roches trachytiques ou à celle des roches leucitiques basiques que l'on rencontre dans les mêmes gisements.

Les roches basaltoïdes feldspathiques sont généralement quelque peu endomorphisées à leur contact avec leurs enclaves calcaires; la ligne de contact est souvent formée par une zone de gros cristaux d'augite[2] en deçà de laquelle la roche volcanique cristallise à grands éléments. Nous verrons des faits analogues, mais mieux caractérisés, dans les bombes trachytiques et leucitiques du Latium (voy. page 608).

Les modifications énumérées dans ce paragraphe s'expliquent bien par une expérience de M. Dœlter[3]. Ce savant a introduit des fragments de calcaire dans diverses roches volcaniques artificiellement fondues et constaté la formation dans le calcaire de minéraux du groupe de la scapolite et de la gehlenite. Au contact du magma et du calcaire se produisent de l'augite rougeâtre, du spinelle et de la magnétite.

6°. — *Enclaves homœogènes non feldspathiques.* — Pour terminer l'étude du métamorphisme dû aux roches basaltoïdes, il faut considérer les modifications qu'elles impriment à leurs enclaves homœogènes non feldspathiques (*nodules à olivine*[4] et *nodules à hornblende*[5]). On a vu plus haut que les nodules à olivine fondent sous l'action de la chaleur et recristallisent ensuite. Au contact avec le basalte, ces phénomènes de fusion s'exagèrent;

1. Ch. II, § III, B. p. 253.
2. Aubenas, fig. 8, p. 146 et fig. 9, p. 149.
3. *N. Jahrb.*, 1886, I, 130.
4. p. 487.
5. p. 478.

on observe en plus grande abondance la formation d'augite : en outre du feldspath s'introduit parfois dans l'enclave.

La hornblende et le mica des nodules à hornblende subissent les mêmes transformations que les grands cristaux intratelluriques des mêmes minéraux de roche volcanique.

MM. Becker, Bleibtreu, Dœlter et Hussak [1] ont obtenu artificiellement ces diverses modifications en chauffant à haute température ces *nodules* ou leurs minéraux constitutifs dans divers magmas fondus. MM. Dœlter et Hussak ont notamment, de cette façon, obtenu la transformation périphérique de l'hypersthène en augite, la fusion et la recristallisation de l'olivine en grains, etc.

III. Roches trachytoïdes [2].

Caractères des modifications métamorphiques exercées par des roches trachytoïdes. — A l'inverse de ce qui vient d'être constaté pour les roches basaltoïdes, les phénomènes métamorphiques exercés par les roches trachytoïdes sur leurs enclaves se sont effectués dans toute la roche englobée, au lieu d'être limités à la zone de contact; ces modifications sont surtout d'ordre chimique. On pourrait, au premier abord, s'en étonner, puisque les roches trachytoïdes sont moins fusibles que les roches basaltoïdes. En effet, si l'on fond d'une part un *trachyte* et de l'autre un *basalte*, et si on les amène l'un et l'autre au même degré de fluidité, la température devra être portée plus haut pour le trachyte que pour le basalte. Si alors, toutes conditions égales d'ailleurs, on introduit dans l'un et l'autre magma également fluide un fragment de *granite*, par exemple, les modifications physiques subies par celui-ci seront plus

1. *Op. cit.*, voy. p. 484.
2. Chapitre II, p. 162.

intenses dans le magma le plus fortement chauffé et les modifications chimiques plus énergiques dans le magma présentant avec lui la plus grande différence chimique. C'est là ce qu'a constaté M. Becker dans toute une série d'expériences intéressantes[1].

Les faits que j'ai recueillis sur cette question montrent que, dans la nature, les choses ne se passent pas toujours avec la simplicité théorique réalisée dans le laboratoire.

En effet, tandis que les *roches basaltoïdes* peuvent être reproduites par fusion purement ignée, comme l'ont montré les expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy, les roches trachytoïdes n'ont jamais pu être obtenues par cette méthode. On doit donc en conclure qu'il faut autre chose que la chaleur pour faire cristalliser les *roches trachytoïdes*. L'action de minéralisateurs, et en particulier de la vapeur d'eau, semble avoir joué un rôle considérable dans leur genèse.

Quand une roche volcanique trachytoïde vient au jour, au lieu d'être très fluide au voisinage de la surface, comme les roches basaltoïdes, elle est au contraire pâteuse, par suite de sa difficile fusibilité; elle se consolide, en effet, plus rapidement dès que sa température s'est un peu abaissée; de plus, elle est mauvaise conductrice de la chaleur; par conséquent, toutes choses égales d'ailleurs, elle se refroidit plus lentement que les roches basaltoïdes et conserve après solidification sa haute température plus longtemps que ces dernières; enfin, les gaz, au lieu de s'échapper facilement, comme dans le cas des roches basiques, restent emprisonnés dans cette roche visqueuse, qui devient poreuse dès que la consolidation est presque complète, avant même l'épanchement volcanique.

Il résulte de ce qui vient d'être dit que les magmas

1. *Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.*, XXXIII, 1883.

trachytoïdes en voie d'épanchement étant peu fluides, leur contact avec les roches qu'ils arrachent pendant leur ascension souterraine est moins intime que dans le cas des magmas basiques; par contre, les minéralisateurs gazeux, emprisonnés dans ces laves visqueuses, doivent imprégner les enclaves et agir sur elles d'autant mieux que la chaleur spécifique de la roche trachytoïde est élevée et qu'elle se refroidit lentement. Le contact longtemps prolongé des enclaves et des minéralisateurs, agissant à haute température, permet la production d'énergiques modifications s'effectuant comme en vase clos.

Telles sont, sans doute, les raisons pour lesquelles les modifications subies par les enclaves des *roches trachytoïdes* sont surtout d'ordre chimique.

Est-ce à dire pour cela que ces enclaves n'ont pas subi de modifications physiques? évidemment non. Dans quelques cas, en effet (Lac de Laach, Puy-de-Dôme, etc.), j'ai trouvé des enclaves présentant des phénomènes de fusion qui rappellent ceux des enclaves des roches basaltoïdes. Toutefois, le plus souvent il n'en est pas ainsi, et dans beaucoup de mes enclaves, parmi les minéraux primordiaux, le mica seul a été fondu, alors que d'autre part la roche a subi d'énergiques modifications chimiques. Ces enclaves ont dû être arrachées relativement près de la surface, alors que la roche volcanique était déjà très visqueuse.

On peut donc vraisemblablement admettre que les roches qui ont été englobées par les magmas trachytoïdes, quand ceux-ci possédaient la fluidité moyenne des roches basaltoïdes lors de leur épanchement, ont dû être fondues et résorbées, de telle sorte que nous n'en trouvons plus de vestiges. Si d'autre part, nous ne rencontrons que peu d'intermédiaires entre ces roches résorbées et celles qui ont été peu altérées par la chaleur, c'est que les traces

des phénomènes de fusion partielle ont dû être effacées par suite de l'action des minéralisateurs sur les produits de la fusion. On sait, en effet, que les verres résistent beaucoup moins bien aux agents chimiques que les minéraux dont ils proviennent.

Peut-être serait-il donc plus exact de dire que l'action des roches trachytoïdes sur leurs enclaves consiste dans l'intensité des phénomènes chimiques ayant en partie effacé les traces des modifications qui ont pu être effectuées par l'action de la chaleur.

De plus, à l'inverse de ce que nous avons constaté pour les roches basaltoïdes, ces modifications chimiques ne se sont pas produites par mélange du magma volcanique et de l'enclave dans la zone de contact, mais par voie d'apport d'éléments volatils dans l'enclave. Ce fait va être bien mis en évidence par la nature des minéraux néogènes.

Des considérations qui viennent d'être développées, il résulte que les enclaves seront plus modifiées dans les roches en coulées, dykes ou amas que dans les tufs de projection.

Parmi les diverses conditions que nous avons considérées dans le cas des roches basaltoïdes comme ayant une influence directe sur les produits de transformation des enclaves, quelques-unes ont ici une moindre importance, ou plutôt leur action ne peut plus être vérifiée, dans la plupart des enclaves que j'ai étudiées. La *température maximum* à laquelle l'enclave a été portée et la *fusibilité des éléments constitutifs* de celle-ci, ainsi que la *vitesse du refroidissement*, seront dans ce cas.

En effet, à part dans les enclaves de la dômite du Puy-de-Dôme, dans quelques blocs granitiques ou gneissiques du lac de Laach, de Santorin, dans un échantillon de Menet et dans quelques enclaves de phonolite, les minéraux anciens des enclaves, qui nous occupent ici

ne montrent pas la trace de phénomènes calorifiques très intenses, sans doute comme je l'ai indiqué plus haut, parce que la plus grande partie des enclaves que j'ai examinées ont été arrachées à une faible distance de la surface ou parce que le verre produit par leur fusion partielle a été totalement transformé.

Du moment où les enclaves ne sont pas entièrement fondues, et que les phénomènes observés ne dépendent plus exclusivement de la fusion sèche, l'influence de la *vitesse du refroidissement* ne peut plus être appréciée. Tout porte du reste à penser que, dans les enclaves qui seront étudiées plus loin, ce refroidissement a été lent puisqu'il est lié à celui de la roche volcanique englobante.

Influence du volume de l'enclave. — Cette influence paraît moins grande que pour les enclaves des roches basaltoïdes, ce qui s'explique, puisque les modifications métamorphiques se sont effectuées non par contact et par mélange avec la roche volcanique, mais par imbibition de corps gazeux ou liquides qui ont pu s'accumuler en grande quantité dans une enclave de grand volume.

Influence de la composition minéralogique. — Par contre, l'influence de la composition minéralogique qualitative et quantitative de l'enclave restera la même pour les roches trachytoïdes que pour les roches basaltoïdes, puisque là encore la nature des produits néogènes dépendra de celle des éléments primordiaux de l'enclave et de leurs proportions relatives.

Influence de la nature de la roche trachytoïde englobante. — Enfin, les modes d'action des divers types de roches trachytoïdes, tout en étant remarquablement analogues, présentent entre eux des différences plus grandes que celles qui ont été constatées entre les divers types de roches basaltoïdes.

Modifications indépendantes de l'action chimique du magma volcanique.

Modifications visibles sans le secours du microscope. — Les enclaves de quelques gisements sont étonnées, disloquées par l'action de la chaleur. Rarement, on observe des traces de fusion plus ou moins intense. Je n'ai jamais rencontré de scories ni de verres comparables à ceux des enclaves des tufs des roches basiques. Les enclaves calcaires sont calcinées comme dans le cas de ces dernières.

Examen analytique de l'action de la chaleur sur les enclaves.

Modifications subies par les minéraux des enclaves considérés individuellement. — Je n'insisterai pas sur l'action de la chaleur seule sur les éléments des enclaves qui m'occupent ici. Elle ne peut, en effet, différer de celle que nous avons étudiée plus haut sur les minéraux des enclaves des roches basaltoïdes. Mais il est ici beaucoup plus difficile de faire la part des phénomènes dus à l'action de la chaleur seule ou à celle des agents chimiques qui ont violemment attaqué l'enclave, car les modifications chimiques ne sont plus limitées à une étroite zone de contact, laissant intact le centre de l'enclave; elles se sont effectuées dans l'enclave tout entière.

Dans les enclaves où il existe de la matière fondue, on voit les minéraux disparaître suivant leur ordre de fusibilité. Le *mica* donne par sa recristallisation du spinelle souvent accompagné d'hypersthène, mais celui-ci, au lieu de former de petits microlites comme dans les enclaves de roches basiques, constitue de grands cristaux d'un vert parfois foncé. Cette formation d'hypersthène dans les enclaves micacées des roches trachytoïdes est un fait très

général et me paraît liée d'une façon étroite à la transformation de la *biotite*. Plus rarement, il se produit dans ces conditions de l'augite, de la sillimanite et du spinelle.

De même, les *feldspaths* offrent les modes de corrosion et de fusion habituels, ainsi que la démolition rectangulaire étudiée plus haut, mais ici, le verre résultant est généralement transformé, et l'on rencontre bien plus fréquemment des feldspaths altérés, cicatrisés par du feldspath récent. Celui-ci ne cristallise que très rarement sous forme de sphérolites ou de microlites, comme dans les enclaves de roches basiques; c'est la forme grenue qui domine parmi les feldspaths récents dont le plus fréquent est l'orthose.

Le *quartz* fond suivant le mode habituel, il est plus souvent transformé en *tridymite* que dans les roches basaltoïdes.

La *cordiérite*, l'*andalousite*, le *spinelle*, etc., se chargent d'inclusions vitreuses. Les *spinellides*, qui les enveloppent souvent ou qui se forment dans leurs cavités, me paraissent dus en grande partie à la transformation de paillettes de *mica* ancien.

Quant aux pseudomorphoses d'*andalousite*, plus rarement de *sillimanite* et de *disthène*, dont il sera question plus loin, je ne les crois pas formées par l'action de la chaleur seule.

Modifications chimiques subies par les enclaves et modifications endomorphes de la roche volcanique.

Je rappellerai l'observation faite plus haut, que beaucoup d'enclaves chimiquement très modifiées ne présentent pas traces de fusion, sauf en ce qui concerne la biotite, ce qui semble indiquer que les modifications

chimiques ont pu s'effectuer à une température inférieure à celle de la fusion des feldspaths. Quand ces modifications calorifiques existent, elles se produisent de la même façon que dans les enclaves des roches basaltoïdes, il n'y a donc pas lieu d'y revenir en détail.

1°. — *Enclaves de roches exclusivement quartzeuses et de schistes argileux*[1]. — Je n'ai pas séparé dans mon étude ces deux catégories d'enclaves, n'ayant eu que peu de documents sur ce sujet.

Le *quartz* subit les mêmes modifications que dans les roches basiques. Quand il est englobé dans un trachyte, il est parfois entouré de la zone de verre et d'augite. Les *grès* et les *schistes argileux* subissent des phénomènes de fusion plus ou moins intenses, et il se développe dans le verre des microlites d'augite[2]. Plus rarement, on observe la production dans l'enclave d'orthose et d'œgyrine[3].

Le produit récent le plus fréquent est la *tridymite*, qui forme souvent des cristaux très nets dans les cavités du quartz[4] ou bien se trouve dans le verre résultant de la fusion de ce minéral. J'ai même observé dans une enclave de l'île de Vulcano la formation d'une *véritable roche de tridymite*[5], identique à celle qui résulte de la fusion et de la recristallisation des briques gréseuses dont il a été question plus haut.

Dans une enclave de Santorin, le quartz ancien est entouré de wollastonite néogène dont la formation est liée sans doute à l'existence d'un peu de calcite dans l'enclave[6].

1. § I, p. 162.
2. Dans *trachyte à haüyne* (Lac de Laach), p. 164, dans *trachyte* (Mte Amiata), p. 167.
3. Dans *leucitophyre* d'Olbrück, p. 165.
4. Le Capucin, p. 163.
5. Vulcano : 168, fig. 12.
6. p. 165.

2°. — *Enclaves de roches quartzofeldspathiques*[1]. — Dans les *trachytes* et les *andésites acides*, les phénomènes de fusion sont généralement peu intenses. Si, en effet, dans quelques gisements (Santorin, Pailloux, Laach), on constate du verre en proportion notable, dans un grand nombre d'autres, au contraire, il n'existe que sous forme d'inclusions vitreuses dans quelques minéraux, soit qu'il n'en ait jamais existé que sous cette forme, soit plus vraisemblablement que les actions chimiques l'aient fait disparaître.

Dans les pegmatites englobées par le trachyte de Menet, la roche est étonnée, et de l'orthose récente vient cicatriser les feldspaths en partie démolis. Rarement (Menet), ce feldspath recristallise sous forme sphérolitique.

Dans les *granites* des tufs trachytiques de Laach[2], le mica est souvent seul fondu et transformé en *grands cristaux* d'hypersthène, en spinelle et en verre.

D'une façon plus générale, les enclaves quartzofeldspathiques des trachytes se modifient suivant deux modes différents; dans l'un, dont j'ai pu suivre pas à pas la marche, les feldspaths sont graduellement corrodés et épigénisés par de l'*orthose grenue* récente, le quartz disparaît peu à peu et est remplacé par de la tridymite. La *cordiérite*, l'*andalousite*, la *sillimanite* sont criblées d'inclusions vitreuses et accompagnées de spinellides et d'hypersthène, provenant de la destruction de la biotite primordiale et enfin de biotite récente. La roche conserve sa structure initiale et quand le volume des éléments néogènes n'est pas égal à celui des éléments résorbés, il se produit des druses, tapissées par de beaux cristaux de tridymite,

1. § II, p. 170.
2. p. 164.

d'hypersthène, d'orthose, de spinelle, etc., implantés sur les minéraux anciens décapés (cordiérite, grenat)[1].

Les roches ainsi transformées sont souvent miarolitiques, et sur un petit volume présentent une certaine analogie de structure et de composition avec les sanidinites, qui font l'objet de l'un des paragraphes du chapitre II.

Dans le second mode de transformation dont je n'ai que rarement trouvé les étapes successives (Fontenille, Lioran), l'enclave est transformée en une roche très feldspathique et le plus souvent très micacée. Le feldspath (orthose ou feldspath triclinique) est grenu ou automorphe (Pl. IV, fig. 2 et 6) quand il reste un peu de verre. Il existe en abondance du spinelle vert et de la magnétite. La cordiérite est intacte. L'andalousite, la sillimanite et le disthène sont généralement transformés en agrégats cristallitiques de spinellides et de corindon, moulés par du feldspath (Pl. IV, fig. 2 et 6, et page 190, fig. 14). Parfois on voit, en outre, de la sillimanite et du rutile récents. Ces enclaves sont généralement rubanées ; la grosseur de leurs éléments varie beaucoup, même sur une épaisseur de quelques millimètres, et certains échantillons ont localement l'apparence de véritables kersantites grenues. Beaucoup d'entre eux pourraient être pris pour des ségrégations de la roche englobante, sans les nombreux exemples que j'ai pu recueillir et qui s'éclairent mutuellement.

Dans les tufs de *trachytes à haüyne* du lac de Laach et

1. Le Capucin, p. 183. Depuis l'impression de cette partie de mon mémoire, j'ai trouvé dans une géode de ce genre un grenat almandin, arrondi par la fusion et surmonté d'octaèdres de magnétite formés à ses dépens. Wolf a signalé de même dans une enclave du lac de Laach des cristaux de magnétite, de hornblende et de spinelle rouge (pyrrhite?), associés à du grenat fondu (*Zeitschr. d. d. geol. Gesell.*, XX, 70, 1868).

dans les *andésites* de Santorin, on trouve des enclaves de roches à grenat, cordiérite, quartz, que j'ai regardées comme l'équivalent des gneiss à cordiérite du Plateau Central de la France. Le mica, le feldspath, une partie du quartz, sont fondus; la sillimanite, la cordiérite, l'andalousite sont disséminées dans le verre résultant de leur fusion, accompagnées d'hypersthène, de mica et de feldspath néogènes; le résidu vitreux est très considérable, alors que dans les roches précédentes il était souvent totalement absent.

Peut être faut-il attribuer une même origine étrangère à la cordiérite de quelques rhyolites (Campiglia).

Quand, plus haut, j'ai parlé de l'abondance de l'andalousite, de la sillimanite et de la cordiérite dans les enclaves, j'ai fait notamment allusion à celles que l'on rencontre fréquemment dans les trachytes dans des régions où ces minéraux ne sont pas connus en place. Les faits que j'ai recueillis viennent jeter du jour sur l'origine des enclaves à cordiérite de quelques-uns de ces gisements. Plusieurs auteurs se sont prononcés pour la nature récente de la cordiérite de ces roches, admettant soit l'origine endogène de ce minéral, soit sa recristallisation après fusion d'enclaves énallogènes du même minéral, bien que les expériences de recuit de cordiérite fondue avec des roches volcaniques acides n'ait jamais donné que des résultats négatifs[1].

Je n'ai trouvé de cordiérite néogène dans aucun de mes échantillons et je me suis prononcé nettement pour son origine primordiale ainsi que celle de tous ces minéraux spéciaux qui l'accompagnent : les roches qui les ren-

1. Voy. notamment Osann., *Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.*, XL, 706, 1888.

ferment sont, suivant les gisements, des granulites[1], des gneiss[2] ou des schistes déjà modifiés par le granite (schiste à chiastolite)[3] et dans lesquels le métamorphisme dû aux trachytes s'est superposé à celui qui a été effectué antérieurement par le granite.

On a vu que, dans les phénomènes de contact des roches basaltoïdes, il se produit souvent de l'augite ; c'est de l'hypersthène qui se forme presque exclusivement dans les enclaves des roches trachytoïdes. A proximité des enclaves, ce même minéral apparait fréquemment en grands cristaux dans des roches volcaniques qui en sont normalement dépourvues.

Les modifications dues aux *phonolites*[4] sont tout à fait comparables à celles qui viennent d'être étudiées dans les trachytes et andésites acides; la production du mica est intense, l'hypersthène est remplacé par de l'augite ou de l'œgyrine et les enclaves ont dû certainement être parfois injectées par la roche volcanique[5]. Les actions secondaires qui ont tant de prise sur les phonolites ont, *a fortiori* attaqué ces enclaves et particulièrement celles qui renfermaient du verre; elles ont plus ou moins complètement transformé celui-ci en zéolites, qui rendent souvent difficile l'étude des échantillons nous occupant ici. Dans quelques gisements, on observe des phénomènes de fusion partielle, accompagnés de recristallisation feldspathique[6] (fig. 17, p. 229).

D'après ce qui vient d'être dit, on voit que les phénomènes métamorphiques exercés par les roches tra-

1. Pailloux, p. 176.
2. Eifel, p. 201, Siebengebirge, p. 206.
3. Le Capucin, p. 179; Fontenille, p. 187; le Lioran, p. 191, etc.
4. C. p. 228.
5. Oberschaffhausen, p. 233.
6. Valette, p. 229, Endhalde, p. 235.

chytoïdes sur leurs enclaves quartzofeldspathiques consistent surtout dans la résorption du quartz, la formation de feldspaths souvent plus sodiques que les feldspaths anciens et prenant généralement la forme grenue ; ils sont accompagnés de biotite, d'hypersthène, de spinellides, etc. Si ces deux derniers minéraux peuvent se produire par voie de fusion sèche, il n'en est plus de même pour l'orthose et il est probable que les transformations qui nous occupent se sont effectuées sous l'action de l'eau sous pression, en présence d'alcalis ou de silicates alcalins et à température ne dépassant pas 1000°. Quelques expériences synthétiques viennent, du reste, nous éclairer à cet égard.

Ces transformations sont en effet de l'ordre de celles que MM. Friedel ont obtenues dans les expériences que j'ai plusieurs fois citées dans ce mémoire. MM. Friedel et Sarrazin ont, en outre, obtenu l'orthose (le minéral néogène le plus fréquent de nos enclaves) en solution alcaline et à une température inférieure au rouge sombre [1]. Il est possible que dans quelques cas particuliers, notamment dans ceux où l'enclave a été en partie fondue, l'action de la vapeur d'eau ait suffi pour faire recristalliser partiellement l'enclave, comme dans l'expérience récente qui a permis à MM. Fouqué et Michel Lévy [2] d'obtenir synthétiquement un *trachyte micacé* en faisant agir de la vapeur d'eau sur un verre granitique à une température inférieure à 1000°.

Bien que je me sois imposé la règle de ne pas m'occuper dans ce mémoire des enclaves des roches éruptives anciennes, je ne puis cependant m'empêcher de faire remarquer en passant l'analogie que présentent ces enclaves feldspathiques, modifiées par les roches trachytoïdes, avec

1. *Bull. Soc. minér.*, IV, 171, 1881.
2. *C. Rendus*, CXIII, 283, 1891.

un grand nombre des enclaves micacées des *granites*[1] et notamment avec celles de la protogine du Mont-Blanc et celles du granite de Flamanville[2] et de Vire que l'on peut voir par milliers dans les bordures des trottoirs de Paris. Ces enclaves présentent les phénomènes de feldspathisation, signalés par M. Michel Lévy au contact du granite et des schistes anciens de plusieurs régions[3]. M. Michel Lévy m'a indiqué dans le massif du Pilat et dans le Velay[4] des granites renfermant des enclaves de gneiss à cordiérite : ce dernier minéral a souvent émigré dans le granite à la façon de la cordiérite des enclaves des trachytes du Plateau Central.

La différence existant dans le mode d'action des granites et des roches trachytoïdes sur leurs enclaves réside surtout dans le développement abondant du quartz dans les enclaves du granite, alors que ce minéral manque dans celles des roches trachytoïdes et qu'il y est remplacé par une petite quantité de tridymite. Cette particularité est due non seulement à une différence dans l'acidité de ces deux catégories de roches, mais sans doute aussi à la différence de température à laquelle elles ont agi les unes et les autres sur leurs enclaves.

Il y a lieu enfin de faire remarquer que les roches trachytiques ne développent dans les schistes argileux et les roches quartzeuses aucun des silicates d'alumine si caractéristiques de l'action métamorphique du granite.

1. Ces enclaves micacées du granite n'ont pas toutes la même origine, les unes sont des enclaves énallogènes (ce sont celles dont il est question ici), les autres sont des enclaves homœogènes analogues aux ségrégations des trachytes : ce fait a été bien mis en évidence par divers auteurs, et notamment par A. Phillips (*Quaterl. J. of. geol. Soc.* XXXVI, 1, 1880).

2. Michel Lévy, *Bull. Carte géol. de France*, n° 9, I, 15, 1890 et n° 36, V, 9, 1893.

3. Michel Lévy, *Bull. Soc. géol.*, 3ᵉ série, IX, 181, 1881.

4. Voy. M. Boule, *Bull. Carte géol. de France*, n° 28, III, 35, 1892.

3°. — *Enclaves de roches silicatées non quartzifères* [1]. — Les roches basiques (diabases, diorites, etc.) recueillies dans des tufs de roches trachytoïdes n'ont subi que des modifications calorifiques peu importantes [2].

Il n'en est plus de même pour les roches volcaniques d'éruptions antérieures (*andésites*, *trachytes*) englobées par les trachytes du Mont-Dore : elles présentent des phénomènes de corrosion, accompagnés de développement, dans toutes leurs cavités, de nombreux minéraux cristallisés (augite, hypersthène, zircon, hornblende, mica, fayalite, tridymite, oligiste, magnétite, pseudobrookite) dont la formation ne peut être expliquée que par l'action sur l'enclave de matières volatiles, emmagasinées au moment de l'englobement [3]. Il est remarquable de voir que la nature de ces minéraux néogènes dépend de la composition de l'enclave dans laquelle ils se sont formés. Ce mode de formation est identique à celui qui a donné naissance à de nombreux minéraux dans des blocs de leucotéphrite englobés par la lave du Vésuve de l'éruption de 1872.

Les cristaux de sanidine des enclaves des trachytes du Mont-Dore sont souvent transformés en un agrégat de cristaux d'orthose, rappelant comme structure les sanidinites qui seront étudiées plus loin.

4°. — *Enclaves de calcaires* [4]. — Les calcaires englobés dans les phonolites et les andésites sont modifiés de la même façon que ceux qui sont enclavés dans les roches basiques; il s'y développe du *grenat*, de la *wollastonite*, du *pyroxène* avec parfois de l'*anorthite*, de la *wollastonite*, du *sphène*, de l'*apatite*. Le contact avec la roche volcanique est souvent formé par une zone de wollastonite

1. § III, p. 236.
2. p. 239.
3. p. 241.
4. § IV, p. 252.

fibreuse. Parfois, il existe une zone de contact dans laquelle la roche volcanique est rendue plus basique par endomorphisme[1]; dans d'autres cas, la roche englobante se charge de wollastonite, sans doute grâce à la résorption de fragments de calcaire[2].

Cette identité du mode d'action des roches basaltoïdes et des roches trachytoïdes m'a engagé à étudier dans un même chapitre tous les calcaires modifiés que l'on rencontre dans les tufs *trachytoïdes* et *leucitiques* de l'Italie méridionale et centrale. Dans ces tufs, ce sont tantôt les roches trachytoïdes, tantôt les roches leucitiques qui dominent. Il devient difficile de savoir auxquelles de ces roches en particulier il y a lieu de rattacher les phénomènes métamorphiques observés, d'autant plus que les calcaires englobés dans des bombes de roche volcanique sont relativement rares; d'ordinaire on ne rencontre guère que des blocs modifiés, sans relations apparentes avec les roches volcaniques. Ces derniers blocs doivent, au moins en partie, être considérés comme le résultat de la transformation de calcaires, effectuée alors que ceux-ci étaient encore *en place*. La question vient encore se compliquer par l'existence dans ces mêmes tufs d'agrégats cristallins de composition souvent voisine de celle des calcaires modifiés et qui, cependant, ont une origine fort différente (voy. ch. II). J'ai discuté cette question trop longuement pour y revenir ici[3].

Les calcaires de la Somma englobés par des roches trachytiques ou leucitiques deviennent cristallins, se chargent de minéraux calciques (*pyroxène*, *wollastonite*, *anorthite*, *idocrase*, *grenat*) généralement accompagnés de *mica*[4]. Ils

1. Santorin, p. 261.
2. Kaiserstuhl, p. 266.
3. p. 269 à 359 et fig. 18 à 25.
4. p. 276.

sont parfois entièrement transformés ou en partie résorbés; ils laissent alors à leur place une géode, tapissée de cristaux de pyroxène, de mica (fig. 18, p. 287), etc. Les roches englobantes subissent des phénomènes de métamorphisme endomorphe[1], consistant en enrichissement en chaux et en soude (développement du pyroxène, transformation de la leucite en néphéline et en orthose, production dans les druses de beaux minéraux à la fois calciques et riches en alcalis). Ces modifications endomorphes et exomorphes semblent s'être produites par fusion ignée en présence de vapeur d'eau et d'émanations sodiques (chlorure de sodium).

Un semblable mode de formation aux dépens du calcaire peut être attribué à de nombreux agrégats cristallins, actuellement dépourvus de calcite, que l'on rencontre dans les tufs de la Somma et du Latium sans relation de contact avec les roches volcaniques; ils renferment parfois un peu de verre et sont constitués par de la wollastonite, de l'anorthite, de l'augite, du mica, de la humboldtilite, etc.

Des phénomènes de métamorphisme endomorphe du même genre que ceux de la Somma s'observent dans les bombes des tufs leucitiques du Latium[2]; ils sont encore plus intenses peut-être.

A la Somma, on trouve en abondance des calcaires très cristallins, souvent rubanés, renfermant un assez grand nombre de minéraux métamorphiques (graphite, périclase, mica, humites, péridots, pyroxènes, etc.), distribués d'une façon quelconque, ou orientés régulièrement. Enfin à côté de ces produits, se trouvent les célèbres calcaires zonés et drusiques dans lesquels il faut considérer séparément les minéraux formés dans le calcaire lui-même devenu

1. p. 285.
2. p. 339, 340 et 532.

très cristallin et ceux qui remplissent ses druses. Les premiers sont régulièrement distribués dans de la calcite[1]. On observe (fig. 18 à 24) : péridot, humite et spinelle, puis péridot, mica et enfin pyroxène au fur et à mesure que l'on se rapproche de la druse dont le remplissage est formé par les minéraux les plus variés (*néphéline*, *orthose*, *leucite*, *sodalite*, *méionite*, *grenat*, *idocrase*, *mica*, *pyroxène*, *péridots*, *humites*, *spinelle*, etc.[2]), donnant naissance par leur association à des combinaisons soit très basiques, soit relativement acides (*sanidinites*).

En m'appuyant sur la considération des inclusions liquides, fréquentes dans beaucoup des éléments de ces calcaires transformés, sur la nature des minéraux que ceux-ci renferment et enfin sur leur comparaison avec ceux des calcaires des tufs de la Campanie, modifiés par fumerolles, j'ai proposé de considérer ces calcaires zonés et drusiques comme ayant été modifiés par action de produits volatils[3] ou entraînés par la vapeur d'eau (chlorures, fluorures, sulfates alcalins, alumineux, magnésiens, etc.). Ces produits ont agi à haute température et ont donné des minéraux différents, suivant la composition initiale de la roche transformée et suivant que la cristallisation des produits néogènes s'est effectuée dans le calcaire, et par suite sous son influence immédiate et à ses dépens, ou dans les druses dont les parois venaient d'être tapissées d'un enduit silicaté.

Dans les tufs de la Somma, on trouve des agrégats cris-

1. p. 291.
2. Voy. les tableaux, page 324-325.
3. Sorby avait dès 1858 indiqué ce mode de formation probable des minéraux des bombes de la Somma, en signalant dans quelques-uns d'entre eux (calcite, idocrase, hornblende, orthose) des inclusions liquides avec cristaux, dans lesquelles il avait reconnu l'existence de chlorures, sulfates et carbonates alcalins. (*Quaterly. J. of the geol. Soc. London*. XIV, 480.)

tallins dépourvus de calcite qui peuvent être considérés comme résultant du démantellement de calcaires entièrement transformés par ce même mode; les uns correspondent à la partie drusique, les autres à la partie péridrusique; enfin, il existe des blocs mixtes comprenant les deux catégories de produit.

Dans les divers gisements italiens étudiés, les roches résultant de la transformation de calcaires présentent la plus grande analogie; leur importance relative n'est pas toujours la même cependant et il existe souvent des particularités propres à un centre volcanique déterminé, particularités qui peuvent s'expliquer soit par la composition initiale du magma volcanique, soit par celle du calcaire transformé.

En résumé, dans ces tufs, on rencontre donc des calcaires modifiés par deux procédés différents, qui ont pu être combinés dans des cas particuliers, par action du contact direct de la lave sur un fragment enclavé ou par action, sur des calcaires en place, d'émanations s'échappant de cette lave (voies aqueuse et gazeuse combinées). Le dernier procédé semble être le plus général; c'est lui qui permet d'expliquer les phénomènes de contact exercés par les roches éruptives granitoïdes sur les calcaires d'un grand nombre de gisements. L'analogie des minéraux ainsi développés avec ceux des calcaires zonés de la Somma n'a plus besoin d'être rappelée.

Il résulte en outre de cette étude que les roches leucitiques même basiques ont été accompagnées en profondeur d'agents minéralisateurs énergiques, analogues à ceux des roches trachytoïdes. A ce point de vue, les roches basiques à leucite sont intermédiaires entre les roches basaltoïdes et les roches trachytoïdes.

CHAPITRE II

ENCLAVES HOMŒOGÈNES

Contribution à l'étude des formes grenues et des ségrégations des roches volcaniques.

---

§ I. Généralités.

Il est aujourd'hui admis par les pétrographes de toutes les écoles que les conditions qui ont présidé à la formation des roches éruptives de composition minéralogique quelconque ont eu une influence prépondérante sur la structure de ces dernières.

Les roches volcaniques, ainsi que je l'ai rappelé plus haut, sont le plus généralement microlitiques, elles sont dans ce cas caractérisées, au point de vue de la structure, par l'existence de deux catégories de cristaux, les uns (grands cristaux) formés antérieurement à la venue au jour du magma (cristallisation à haute température, sous pression et souvent en présence de minéralisateurs), les autres (microlites) produits surtout pendant l'épanchement de la roche. Le refroidissement rapide joint à la mobilité du magma, peut être aussi à l'absence de pression, au départ des minéralisateurs, explique pourquoi les microlites sont généralement de petite taille et pourquoi ils sont souvent accompagnés d'un résidu non cristallisé. L'existence de ces deux temps de consolidation est donc une conséquence des conditions différentes qui ont présidé au commencement et à la fin de la cristallisation de la roche.

Si l'on suppose maintenant que celle-ci ait entièrement

cristallisé en profondeur, sous l'influence des conditions qui ont permis la formation de grands cristaux, on s'explique aisément que la structure reflète cette uniformité. La roche sera holocristalline et ne présentera pas cette structure à deux temps très distincts ; elle possèdera la structure granitoïde.

Cette relation entre la structure des roches éruptives et les conditions de leur cristallisation est si frappante, que depuis que le microscope est employé en pétrographie, depuis surtout que les expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy sont venues encore la préciser et en donner une démonstration expérimentale, les pétrographes ont classé les roches d'après leur structure (MM. Fouqué et Michel Lévy, Rosenbusch (1877), Zirkel) en roches granitoïdes et en roches microlitiques.

Plus récemment, M. Rosenbusch a voulu aller plus loin ; il a pris pour base de sa classification la nature des gisements, divisant les roches éruptives en roches de profondeur, de filon, d'épanchement, et admettant qu'à chacune de ces manières d'être correspond une structure particulière.

Les relations existant entre les diverses formes qu'est susceptible de prendre un magma de composition déterminée ont été jusqu'à présent déduites de l'analogie de composition chimique présentée par des roches de structure différente, et aussi de l'existence fréquente de ces divers types pétrographiques dans une même région.

L'étude des enclaves homœogènes des roches volcaniques permet d'aborder la même question d'une autre manière. Les roches volcaniques, en effet, rapportent fréquemment des profondeurs, des agrégats minéraux offrant les divers types de la structure granitoïde, et présentant avec la roche englobante des relations de composition

tellement intimes qu'il n'y a pas à douter de l'identité du magma d'où ils proviennent les uns et les autres. Ces relations peuvent être de deux sortes ; ou bien l'enclave homœogène possède sensiblement la même composition que la roche volcanique englobante (*sanidinite à biotite* des *trachytes à biotite*, *syénite néphélinique* des *phonolites*), ou bien elle est formée de quelques-uns seulement de ces éléments, de ceux que l'on trouve d'ordinaire en grands cristaux intratelluriques dans la roche volcanique. Pour simplifier, j'appellerai dorénavant le premier type d'enclave *la forme grenue de la roche volcanique*, malgré les petites différences de composition chimique qu'elle peut présenter avec celle-ci, et je désignerai le second sous le nom d'*enclave basique*, parce qu'effectivement, comme on le verra plus loin, quand une cristallisation produite aux dépens d'un magma ne comprend qu'une partie des éléments qu'il est susceptible de fournir, le produit cristallin ainsi formé est constitué par les minéraux les plus basiques parmi ceux qui appartiennent à la roche grenue correspondante, ou qui pourraient s'y produire eu égard à la composition chimique de celui-ci [1].

Dans beaucoup de régions volcaniques, des enclaves homœogènes ont été antérieurement décrites (sanidinites des Açores, du lac de Laach, syénites néphéliniques et roches à ittnérite du Kaiserstuhl, nodules à hornblende et à olivine d'un très grand nombre de gisements, nodules à grenat, pérowskite, de l'Oberwiesenthal, etc.), et interprétées par divers auteurs, comme je l'ai fait moi-même ; je renvoie pour la bibliographie aux chapitres descriptifs. J'ai coordonné ces résultats et j'ai apporté personnellement sur cette question un grand nombre de docu-

1. Cette restriction est nécessaire, car un même magma cristallisant dans des conditions différentes peut donner des minéraux différents.

ments nouveaux, s'appliquant indistinctement à tous les types de roches volcaniques. Les exemples nombreux présentés par chacun d'eux permettent, en outre, d'en tirer quelques conclusions générales. En s'appuyant sur les documents réunis dans ce mémoire, il est possible, *a priori*, de prévoir de quelle nature seront les diverses enclaves homœogènes d'une roche volcanique donnée, et inversement dans certains cas, de remonter de ces enclaves à la roche volcanique englobante.

Si l'interprétation minéralogique des enclaves homœogènes ne laisse pas beaucoup à désirer, il n'en est plus de même pour l'explication théorique de leur mode de formation. Il ne faut point, en effet, s'attendre à ce point de vue à trouver au problème une solution unique et schématique. On rencontre fréquemment ici des exemples de ce fait, sur lequel j'ai insisté à plusieurs reprises dans ce mémoire, et qui frappe tous ceux qui étudient les minéraux dans leurs gisements, c'est que la nature prend souvent des chemins différents pour arriver au même but.

Afin de bien établir la limite entre les faits d'observation que je crois pouvoir considérer comme définitivement acquis, et la théorie qui, elle, est sujette à discussion, j'exposerai d'abord les résultats ayant rapport à la composition minéralogique et à la structure des enclaves homœogènes des diverses roches volcaniques, pour chercher ensuite à exposer comment je m'explique leur mode de formation.

II. Résultats pétrographiques auxquels conduit l'étude des enclaves homœogènes [1].

(RELATIONS MINÉRALOGIQUES EXISTANT ENTRE CELLES-CI ET LA ROCHE VOLCANIQUE QUI LES ENGLOBE.)

α. *Enclaves homœogènes comparables à la forme grenue de la roche volcanique englobante.*

1° Famille des roches à feldspath seul.

a) *Série trachytoïde* [2]. — Dans les roches trachytoïdes de cette famille, les enclaves dont nous nous occupons ici peuvent être désignées sous le nom général de *sanidinites*, à cause de leur feldspath dominant qui est de l'orthose vitreuse (sanidine) souvent acccompagnée, quelquefois même remplacée par de l'anorthose.

Ces sanidinites se rencontrent surtout dans les *trachytes* acides à biotite ou hornblende et dans les trachytes à œgyrine.

Leur composition est en général fort simple. Dans les sanidinites des trachytes acides, les éléments colorés (hornblende, mica, pyroxène) sont généralement très clairsemés, parfois même presque absents : la magnétite et l'apatite sont très rares. Le sphène, le zircon, plus rarement le corindon [3], forment souvent de très gros cristaux.

La structure est ordinairement *miarolitique*, les feldspaths, aplatis suivant g^1 (010), laissent entre eux des vides polyédriques, souvent tapissés de beaux cristaux (zircon, sphène, apatite, magnétite, mica, pyroxène, orthose), remarquablement identiques, quel que soit le

1. Deuxième partie.
2. Ch. I, § I, p. 352.
3. Menet, p. 364.

gisement considéré : ces minéraux sont rarement accompagnés par de la wernérite[1].

Dans quelques gisements, il existe des minéraux secondaires, tridymite, calcite ou quartz : quand ce dernier minéral est abondant et remplit complètement les interstices de la roche, celle-ci ressemble à s'y méprendre à une roche granitique[2].

A côté de ces sanidinites miarolitiques, il en existe d'autres qui sont franchement grenues, à éléments plus ou moins fins : elles rappelent les *aplites*; quelques-unes même présentent une véritable structure *microgranulitique* et deux temps distincts de consolidation. Je les ai désignées sous le nom de *microsanidinites*[3] (fig. 28, p. 380). Elles passent par gradations insensibles aux *trachytes* microlitiques.

Les *krablites* d'Islande[4] semblent être les *sanidinites* des trachytes islandais, beaucoup plus acides que ceux des autres gisements dans lesquels j'ai étudié des enclaves similaires.

Les *trachytes* à *œgyrine*[5] des Açores englobent des *sanidinites* ne différant de celles des *trachytes à biotite* que par la nature sodique de leur pyroxène (œgyrine ou augite sodique) et de leur amphibole (arfvedsonite) et par l'existence de quelques minéraux spéciaux (*pyrrhite*, *låvénite*, *astrophyllite*). Ces sanidinites sont minéralogiquement intermédiaires entre les sanidinites à biotite et les sanidinites plus sodiques des phonolites, de même que la roche qui les englobe est elle-même intermédiaire au point de vue chimique entre les phonolites et les trachytes à biotite.

1. Procida, p. 379.
2. Chuquet-Genestoux, p. 359; Monselice, p. 385, etc.
3. Monte Olibano, p. 376; Procida, p. 381.
4. p. 387.
5. § II, p. 389.

Les sanidinites d'un assez grand nombre de gisements[1], ont subi, de la part du magma qui les englobe, des phénomènes de corrosion et de recristallisation, présentant une grande analogie avec les phénomènes similaires que l'on observe dans les enclaves énallogènes des mêmes gisements.

Dans quelques gisements de trachytes[2], les sanidinites se chargent de feldspath triclinique et d'éléments ferrugineux, parmi lesquels domine la hornblende; l'apatite, la magnétite deviennent abondantes, le zircon ne se rencontre plus qu'accidentellement.

Par disparition de la sanidine, ces roches passent aux enclaves basiques, qui seront étudiées en p. 626. Faisons remarquer, toutefois, que ces passages sont toujours exceptionnels et que les enclaves basiques sont le plus généralement indépendantes des sanidinites.

Dans les *andésites à hornblende, à augite ou à hypersthène*, les sanidinites disparaissent presque complètement pour faire place à des enclaves constituées par du feldspath triclinique, de la hornblende, du pyroxène, quelquefois de la biotite; l'apatite, la magnétite sont abondantes, le zircon presque absent. Ce sont de véritables *diorites-diabases*[3] que l'on retrouve en enclaves dans les roches de la série basaltoïde de cette même famille.

b) *Série basaltoïde*[4]. — Dans les enclaves de roches basaltoïdes, le feldspath est souvent de l'anorthite, ou tout au moins de la bytownite; il existe parfois de l'olivine. Les relations de composition chimique existant entre ces diorites diabases et les roches volcaniques basiques qui les

1. Menet, p. 365, Eifel, p. 372, etc.
2. Menet, p. 364, etc.
3. Eifel, p. 372, M^{ts}, Euganéens, p. 386, etc.
4. Ch. II, § I, p. 469.

enclavent ne sont pas moins frappantes que celles qui lient les sanidinites aux trachytes acides.

Les différences existant entre les enclaves, rencontrées dans les diverses roches de ce groupe, consistent dans une basicité plus ou moins grande des feldspaths, dans l'abondance plus ou moins grande des éléments ferrugineux (augite, hornblende).

Il est intéressant de noter la rareté relative de cette catégorie d'enclaves, à opposer à la facilité avec laquelle les roches basaltiques présentent la structure holocristalline dans les coulées épaisses refroidies lentement. Dans ces conditions, les produits consolidés sont des diabases et non des diorites.

2° Famille des roches à feldspaths et feldspathoïdes.

a) *Série trachytoïde.* — Les *trachytes à haüyne*[1] du lac de Laach se rapprochent plus des phonolites que des trachytes à biotite, aussi est-ce avec les enclaves grenues des phonolites que leurs sanidinites vont présenter d'étroites affinités. En plus des éléments que nous avons rencontrés dans les sanidinites précédentes, on observe en abondance de la *noséane* ou de la *haüyne*, en partie englobées par les feldspaths, mais surtout postérieures à ces minéraux : la scapolite joue parfois le même rôle. De nombreux minéraux cristallisés tapissent soit les interstices miarolitiques, soit des cavités de corrosion : ce sont ou bien les mêmes éléments que dans les sanidinites des trachytes acides (*zircon*, *sphène*, *magnétite*, *mica*, *orthose*, etc.), ou bien des minéraux spéciaux (*pyrrhite*, *orthite*, *monazite*, *wernérite*, *noséane*, etc.).

L'apparition de feldspath triclinique et l'abondance des

1. Ch. I, § III, p. 394.

produits ferromagnésiens, conduisent à des roches homologues de celles que j'ai signalées en enclaves dans les trachytes; elles établissent le passage de ces sanidinites avec les enclaves basiques dépourvues de noséane, qui seront étudiées plus loin.

C'est dans la même famille pétrographique qu'il faut placer les *sanidinites à sodalite*[1] des tufs de l'Italie méridionale et centrale, en relation avec des trachytes sodiques contenant eux-mêmes de la sodalite. Les enclaves homœogènes des leucitophyres typiques sont dépourvues de leucite, mais j'ai décrit à la Somma des *sanidinites à leucite* (fig. 29, p. 458)[2], que je considère comme liées aux *trachytes à sodalite et leucite* du même gisement.

Dans toute cette catégorie de sanidinites sodiques, on observe les mêmes variations de structure que dans les sanidinites de la famille précédente; des microsanidinites à sodalite ou haüyne conduisent par gradations insensibles aux trachytes microlitiques[3].

A la Somma, quelques-unes de ces sanidinites renferment de grands cristaux de leucite, épigénisés en un mélange de sanidine, de sodalite et de néphéline; ces pseudomorphoses rappelent par leur structure les sanidinites miarolitiques du même gisement; elles sont en outre comparables à celles des syénites néphéliniques du Brésil et de l'Arkansas.

Parfois dans ces sanidinites, apparaît du feldspath triclinique, présentant une texture vermiculée spéciale (fig. 30, p. 464); il est généralement accompagné par du grenat, du pyroxène, en grande abondance; la structure est alors généralement microgranulitique.

1. Ch. I, § V, p. 450.
2. p. 457.
3. Somma, p. 459; Vico, p. 464.

Ces trachytes sodiques nous ont conduit au groupe des phonolites (*phonolites* et *leucitophyres*)[1]; leurs *sanidinites* offrent un intérêt spécial en ce qu'elles sont identiques au double point de vue de la composition minéralogique et de la structure, aux *syénites néphéliniques* anciennes. Suivant les gisements, la néphéline y est abondante, ou au contraire, plus ou moins complètement remplacée par de la sodalite ou de la haüyne. Ces minéraux sont soit automorphes et inclus dans le feldspath, soit xénomorphes; ils moulent alors les feldspaths.

Les intervalles laissés entre eux par les cristaux d'orthose sont complètement comblés, et, par suite, il n'existe pas de minéraux drusiques comme dans les autres sanidinites. Le pyroxène est sodique (augite œgyrinique, œgyrine), l'amphibole est généralement absente; dans quelques gisements, on observe des minéraux spéciaux, tels que la lâvénite, le sphène, la pyrrhite, etc.

Ces syénites néphéliniques sont parfois grenues à plus ou moins grands éléments (Pl. VII, fig. 5 et 6) ou offrent la structure caractéristique des syénites néphéliniques de Foya, du Brésil (Pl. VI, fig. 12, et Pl. VII, fig. 3, 4, 10, 12); parfois elles ont une tendance à prendre la forme microlitique (Pl. VII, fig. 7 et 11), rappelant alors les *syénites phonolitiques* des même régions; plus rarement ces roches sont finement grenues et assez analogues comme structure aux microsanidinites (Pl. VII, fig. 9).

Dans ce groupe d'enclaves, on observe des passages avec des roches plus basiques; ils ne se font plus comme dans la famille pétrographique précédente, par apparition de feldspath triclinique, ils prennent naissance par disparition totale du feldspath.

De même que dans les roches feldspathiques dépourvues

1. Ch. II, § IV, p. 413.

de feldspathoïde, il existe des passages entre les trachytes, les andésites acides et les basaltes, par l'intermédiaire des andésites augitiques, de même dans la famille des roches à feldspath et feldspathoïde, nous trouvons des intermédiaires entre le groupe des *phonolites* et celui des *téphrites*; ils sont formés par des leucotéphrites à sanidine, du genre de celles des tufs de la Somma; les *sanidinites* de ces roches sont elles-mêmes intermédiaires entre les *sanidinites à sodalite* et les *teschénites* dont nous allons nous occuper.

b) *Série basaltoïde*[1]. — La forme grenue des téphrites est une roche holocristalline, renfermant de l'olivine, du pyroxène, de l'amphibole, de la biotite, de l'apatite, du feldspath triclinique et contenant, en outre, deux éléments caractéristiques, la *sodalite* et la *néphéline*. Telle est, du reste, la composition des enclaves homœogènes des *téphrites*; elles sont analogues aux *teschénites* anciennes[2].

J'ai décrit[3] des roches du même groupe, provenant de la Somma, dans lesquelles la sodalite est accompagnée de grandes plages d'*orthose* (fig. 33, p. 520), plus rarement associée à de la *leucite* (fig. 34, p. 522)[4]. Ces enclaves représentent à mes yeux la forme grenue des leucotéphrites basiques, de même que les syénites néphéliniques du Kaiserstuhl doivent être considérées comme l'équivalent granitoïde des leucitophyres qui les ont amenées au jour. Il est remarquable de voir associées l'olivine et l'orthose dans de semblables conditions.

C'est par la prédominance de l'orthose sur les éléments basiques ferrugineux ou calciques que ces *teschénites*

1. Ch. II, § II, p. 513.
2. Kaiserstuhl, Canaries, p. 516; Cap-Vert et Mont-Dore, p. 517; Bohême, p. 519.
3. p. 519.
4. p. 521.

passent aux sanidinites qui se rencontrent avec elles à la Somma.

3° Famille des roches à feldspathoïdes seuls[1].

Dans cette famille pétrographique, les enclaves représentant la forme grenue de la roche englobante sont relativement rares; il y a plutôt tendance à la production d'enclaves basiques. C'est donc un fait comparable à celui que j'ai signalé en parlant des roches feldspathiques basiques.

Quand, dans les néphélinites, on rencontre[2] de semblables enclaves, elles sont constituées par un mélange de néphéline, de sodalite ou d'haüyne, de pyroxène avec ou sans grenat, amphibole, mica, sphène, pérowskite, ilménite, rappelant par suite à la fois l'*ijolite* de Finlande et les accidents holocristallins des néphélinites effusives de divers gisements (Katzenbuckel, Puy de Saint-Sandoux, etc.). Ces roches contiennent souvent de l'orthose.

Les enclaves grenues des leucitites du Latium[3] sont généralement riches en leucite, et parfois en orthose; mais dans ce gisement, la question se complique, car il semble que ces bombes leucitiques soient le résultat de cristallisations profondes, influencées par des phénomènes de contact endomorphes. J'ai en effet signalé plus haut les fréquents passages de ces roches leucitiques holocristallines, riches en orthose, haüyne, grenat, pyroxène, mica, etc., à d'autres agrégats cristallins résultant, sans aucun doute, de la transformation de calcaires. Nous verrons plus loin l'explication théorique de la présence de l'orthose dans des roches aussi basiques.

1. Ch. II, § III, p. 428.
2. Oberwiesenthal, p. 531.
3. p. 533 et Madagascar, p. 536, etc.

Je n'ai eu l'occasion d'examiner qu'un seul échantillon d'enclave homœogène provenant des basaltes mélilitiques; il est constitué par une sorte de teschénite [1].

4° Familles des roches sans éléments blancs.

Je n'ai recueilli que peu de documents sur les enclaves, des *augitites* et des *limburgites* [2], etc. Ces roches sont le plus souvent associées à des roches néphéliniques, leurs enclaves sont formées par des agrégats de pyroxène, d'amphibole, de mica, de péridot, qui constituent les enclaves basiques des roches à feldspathoïdes : elles peuvent aussi être minéralogiquement considérées comme la forme grenue des roches très basiques qui nous occupent ici.

5° Résumé des données précédemment établies.

En résumé, on voit que les roches volcaniques, quelle que soit leur composition, renferment en abondance des enclaves qui peuvent être *minéralogiquement* considérées comme représentant la forme grenue du magma, dont la forme microlitique est la roche volcanique englobante. Ces enclaves reflètent les différences, et parfois même les nuances qui séparent ces diverses roches volcaniques les unes des autres.

Au fur et à mesure que l'on descend dans l'échelle de basicité de l'une des familles pétrographiques établies plus haut, les enclaves qui nous occupent ici deviennent moins abondantes, tout en restant caractéristiques. Enfin, dans les termes les plus basiques de ces familles, ces enclaves

1. Höhgau, p. 531.
2. p. 535.

sont beaucoup plus rares, et l'on constate, au contraire, une grande abondance d'enclaves plus basiques que le magma englobant; ce sont ces dernières dont l'étude fera l'objet du chapitre suivant.

Le tableau de la page 627 résume les données acquises dans ce chapitre.

Il est facile de voir que les diverses *sanidinites* correspondent respectivement aux *syénites* et *syénites néphéliniques* anciennes, que parmi les enclaves des *roches basaltoïdes*, les *diorites-diabases* et *teschénites* sont équivalentes des divers types de roches anciennes portant le même nom : les enclaves grenues des néphélinites sont comparables à l'*ijolite* et les *nodules à olivine*, les *nodules à hornblende et augite*, aux *péridotites* et aux autres roches basiques de la même famille. Quant aux enclaves basiques renfermant de la leucite, on ne leur connaît pas d'équivalent dans les roches grenues en place.

Je rappellerai encore une fois que mes divisions de roches trachytoïdes et de roches basaltoïdes n'ont rien d'absolu, et que les roches intermédiaires d'une même famille renferment des enclaves homœogènes également intermédiaires entre les enclaves des types extrêmes.

β. *Enclaves homœogènes plus basiques que la roche volcanique englobante.*

1° Famille des roches à feldspath seul.

a) *Série trachytoïde.* — Les éléments qui constituent ces enclaves sont les plus basiques de ceux que renferme normalement la roche volcanique englobante à l'état de grands cristaux. On constate que les enclaves basiques d'une roche donnée, ont souvent une tendance à se rapprocher, au point de vue de leur composition, de la forme grenue des types pétrographiques plus basiques de la même famille

ENCLAVES HOMŒOGÈNES COMPARABLES A LA FORME GRENUE DE LA ROCHE ENGLOBANTE

	Famille des roches à feldspaths seuls		Famille des roches à feldspaths et feldspathoïdes				

Série trachytoïde

Roches englobantes	*Trachytes et andésites acides.*	*Trachytes à ægyrine*	*Trachytes à haüyne.*	*Trachytes à sodalite.*	*Trachytes à sodalite et leucite.*	*Phonolites*	*Leucitophyres.*
	—	—	—	—	—	—	
Enclaves grenues..	Sanidinites.	Sanidinites à ægyrine.	Sanidinites à haüyne ou noséane.	Sanidinites à sodalite.	Sanidinites à sodalite et leucite.	Sanidinites à sodalite et néphéline. (syénites néphéliniques)	

Série basaltoïde

	Famille des roches à feldspaths seuls		Famille des roches à feldspaths et feldspathoïdes		Famille des roches à feldspathoïdes seuls			Famille des roches sans feldspaths et sans feldspathoïdes
Roches englobantes	*Andésites augitiques, labradorites*	*Basaltes*	*Téphrites*	*Leucotéphrites.*	*Néphélinites*	*Leucitites*	*Mélilitites*	*Augitites et limburgites.*
	—		—	—	—	—	—	—
Enclaves grenues..	Diorites-diabases plus ou moins basiques		Teschénites	Teschénites riches en orthose avec quelquefois leucite	Néphélinites grenues (Ijolites)	Leucitites holocristallines à orthose.	Teschénites	Nodules à hornblende, augite, etc. nodules à olivine.

Étant donné le petit nombre des minéraux existant ou pouvant exister à l'état de grands cristaux dans les roches volcaniques de la famille pétrographique qui nous occupe, (hornblende, augite, mica, feldspath triclinique et accessoirement apatite, magnétite et ilménite), on s'explique le peu de combinaisons pétrographiques observées parmi ces enclaves basiques qui oscillent autour de la composition des *diorites-diabases*; les variations dans la basicité de la roche englobante ne se traduisent dans ces enclaves que par la plus ou moins grande quantité d'éléments ferromagnésiens et par la basicité plus ou moins grande du feldspath. Aussi dans les régions où l'on rencontre, au milieu de tufs, des roches de composition différente, variant depuis des *trachytes acides* jusqu'à des *andésites augitiques*, il est souvent difficile, et parfois même impossible de rapporter avec sûreté une enclave basique donnée à l'un des types pétrographiques dont il vient d'être question.

Ces enclaves sont ou bien holocristallines[1] ou bien pourvues d'une quantité plus ou moins grande de verre[2].

b) Série basaltoïde[3]. — Si l'on considère le type le plus basique de cette série, le *basalte*, on constate que le nombre des éléments constituant les enclaves basiques est plus restreint encore que dans la série trachytoïde : ce ne sont plus que des silicates ferrugineux et parfois de la magnétite et de l'apatite. Nous sommes ainsi conduits aux *nodules à hornblende* et *pyroxène*[4], formés par un mélange holocristallin, ou semicristallin de hornblende ou de pyroxène, avec ou sans apatite, olivine, magnétite et ilménite. Il y a lieu de signaler dans ces nodules la rareté de la biotite qui, au

1. Mont-Dore, p. 359; Cantal, p. 367; Haute-Loire, p. 370, etc.
2. Cantal, p. 368; Santorin, p. 373; Roccamonfina, p. 384, etc.
3. Ch. II, § I, p. 476.
4. p. 477.

contraire, est fréquente dans les enclaves similaires des autres familles pétrographiques.

Les basaltes renferment, en outre, une autre catégorie d'enclaves basiques, les *nodules à olivine*[1], qui présentent également d'étroites relations minéralogiques avec eux. Ce sont des roches holocristallines, constituées par un mélange granitoïde d'olivine, d'enstatite, de diopside chromifère et de spinelle (picotite). Il existe parfois de la hornblende, plus rarement de la biotite, minéraux dont la présence établit le passage entre les nodules à olivine et les nodules à hornblende. Tandis que dans ces derniers, les inclusions vitreuses sont assez fréquentes, elles sont rares dans les nodules à olivine, et généralement limitées à la zone de contact avec le basalte; elles sont sans doute secondaires; par contre, les inclusions liquides à bulles y sont fréquentes.

Toutes ces enclaves basiques présentent des phénomènes métamorphiques, résultant soit de l'action de la chaleur seule, soit de l'action du magma qui les englobe. Ces modifications sont du même ordre que celles qui ont été subies par les grands cristaux intratelluriques des roches volcaniques.

2° Famille des roches feldspathiques à feldspathoïdes.

a) Série trachytoïde. — Les *trachytes à haüyne* renferment des enclaves basiques analogues à celles des trachytes acides; elles appartiennent au type diorite-diabase[2]; elles sont soit holocristallines (elles passent alors parfois aux sanidinites par développement d'orthose et de noséane), soit pourvues d'un résidu vitreux; elles présentent parfois des phénomènes de résorption et de recristallisation dues

1. p. 483.
2. p. 409.

à l'action du magma trachytique. Peut-être existe-t-il aussi des enclaves dépourvues de feldspath.

Quant aux *phonolites* et *leucitophyres*, ils renferment deux catégories d'enclaves basiques.

La première est formée par des roches se rapprochant du type dont il vient d'être question dans les trachytes à haüyne. Elles possèdent soit la structure des diabases, soit la structure microlitique; dans ce dernier cas, elles rappellent les *andésites amphiboliques* (*porphyrites amphiboliques*, *camptonites*); elles se trouvent dans les *phonolites feldspathiques*[1]. La seconde catégorie se rencontre surtout dans les *phonolites néphéliniques* et les *leucitophyres*; elle comprend[2] des roches holocristallines à grands éléments, variant de composition, grâce à la prédominance de quelques-uns des éléments constituants : apatite, ilménite ou magnétite, mélanite, haüyne, noséane ou sodalite, néphéline, pyroxène, biotite, plus rarement sphène, pérowskite, etc. L'apparition de l'orthose et la diminution des éléments ferrugineux conduisent aux enclaves de syénites néphéliniques dont il a été parlé plus haut.

L'intime relation reliant ces enclaves basiques avec la roche englobante est mise en évidence par ce fait que le grenat mélanite n'existe que dans les enclaves des roches volcaniques qui sont elles-mêmes grenatifères.

Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer l'absence de la leucite dans ces enclaves, alors que le même minéral se présente en grands cristaux dans les leucitophyres.

Ces enclaves grenues non feldspathiques à haüyne n'ont pas d'homologues dans la famille des roches à feldspaths seuls, ce qui s'explique, du reste, par la composition

1. Plateau Central de la France, p. 426.
2. Höhgau, p. 432; Rieden, p. 436; Kaiserstuhl, p. 445.

chimique de ces dernières ; il est curieux de faire remarquer, en outre, que ces enclaves sont très rapprochées des enclaves basiques des néphélinites et des leucitites aussi bien que de quelques-unes de celles des téphrites ou des leucotéphrites.

b) *Série basaltoïde.* — Les enclaves basiques des *téphrites* et des *leucotéphrites* peuvent se diviser en deux groupes, homologues de ceux que nous avons rencontrés dans les roches basaltoïdes de la famille précédente.

Le premier peut être comparé aux diorites-diabases, avec des différences minéralogiques en rapport avec la composition chimique du magma dont elles proviennent. Ces enclaves sont constituées par des roches renfermant de l'augite, de la biotite, de l'olivine, du feldspath triclinique et de la *leucite*; elles sont holocristallines ou possèdent[1] du verre et elles passent alors insensiblement à la roche englobante. Tantôt le feldspath et les produits ferrugineux sont abondants, la leucite étant relativement rare, tantôt, au contraire, c'est ce minéral qui est l'élément dominant.

Dans le second groupe, le feldspath est absent ; l'augite, le mica, l'amphibole, l'olivine, l'apatite, associés ou non à la leucite ou à la haüyne, forment des agrégats, le plus souvent holocristallins. Il existe de grandes variations dans les proportions relatives des divers éléments constituant ces enclaves ; quand elles sont dépourvues d'éléments blancs, elles sont comparables aux nodules à hornblende des basaltes, avec cette différence, toutefois, que la hornblende y est plus ou moins remplacée par de la biotite[2].

Ces enclaves basiques, lorsqu'elles renferment de la leucite[3], ne se distinguent en rien des enclaves des leuci-

1. Somma, p. 523; Roccamonfina, p. 524.
2. *Téphrites* de Wolstein, p. 526 ; des Canaries, p. 527; *leucotéphrites* de la Somma et du Vésuve, p. 527.
3. Vulture, p. 528.

tites. La même observation peut être faite pour les enclaves grenues à haüyne, pyroxène, mica, etc., qui dans la Basilicate[1] accompagnent aussi bien les leucotéphrites que les leucitites.

Notons enfin que les plus basiques des téphrites et des leucotéphrites renferment parfois des *nodules à olivine* identiques à ceux des basaltes.

3° Famille des roches à feldspathoïdes seuls.

Les enclaves basiques des *leucitites* et des *néphélinites* se rapportent à deux types. L'un est formé d'éléments colorés, hornblende, augite, biotite, plus rarement olivine, ilménite, magnétite, avec souvent de l'apatite; ces minéraux sont associés en proportions variables et sont les équivalents des nodules à hornblende ou mica des familles pétrographiques précédemment étudiées[2].

L'autre type contient, en outre des éléments précédents, de la haüyne, quelquefois de la pérowskite, du grenat mélanite, de la néphéline, et se rapproche des enclaves basiques non feldspathiques, des phonolites et des leucitophyres[3], en même temps que de la forme grenue des roches qui les englobent.

Des nodules à olivine, identiques à ceux des basaltes se trouvent dans les néphélinites et leucitites à olivine de quelques régions.

4° Famille des roches sans éléments blancs.

Les *augitites* et *limburgites* ne renferment plus que des nodules à hornblende[4] et des nodules à olivine[5], dont il a

1. p. 528 et 542.
2. Eifel, p. 536; Latium, p. 540.
3. Bohême, p. 539; Vulture, Latium, p. 540, etc.
4. Eifel, p. 536.
5. p. 544.

été parlé plus haut, et dont la composition se rapproche beaucoup de celle de la roche englobante.

Résumé des données précédemment acquises.

Je résumerai dans le tableau de la page 634 les diverses enclaves basiques des roches volcaniques, en ayant soin de placer, suivant une même ligne horizontale, les agrégats cristallins que je regarde comme homologues dans les diverses familles pétrographiques.

La lecture de ce tableau montre la banalité des enclaves basiques du type *diorite-diabase*, qui se rencontrent indistinctement dans toutes les roches volcaniques feldspathiques, sans que de légères différences, dans les proportions relatives ou dans les propriétés des minéraux qui les constituent, puissent permettre de les distinguer avec sécurité les unes des autres.

Les *nodules à hornblende* se rencontrent dans toutes les roches basiques, et par suite, ne sont strictement caractéristiques d'aucune d'entre elles en particulier, toutefois dans les roches à feldspathoïdes, ils se chargent généralement de mica, minéral rare dans les nodules similaires des basaltes.

Quant aux nodules à olivine, ils se trouvent dans toutes les roches très basiques renfermant elles-mêmes de l'olivine : en effet, ils s'observent aussi bien dans les *basaltes* que dans les *téphrites*, les *leucotéphrites* les *leucitites* ou les *néphélinites*, mais seulement dans celles de ces roches qui contiennent de l'olivine.

Les enclaves basiques renfermant de la *haüyne* et de la *leucite* se trouvent exclusivement dans les roches volcaniques à feldspathoïde, mais il faut remarquer qu'il existe de bien petites différences entre les enclaves de cette caté-

ENCLAVES PLUS BASIQUES QUE LA ROCHE ENGLOBANTE

	Famille des roches à feldspaths seuls		Famille des roches à feldspaths et feldspathoïdes			Famille des roches à feldspathoïdes seuls		Famille des roches sans feldspaths et sans feldspathoïdes
Série trachytoïde								
Roches englobantes	*Trachytes et andésites acides.*		*Trachytes à haüyne.*	*Phonolites*	*Leucitophyres*			
	—		—	—	—			
Enclaves basiques	Diorites-diabases		Diorites-diabases	Diorite-diabase				
				Roche holocristalline à haüyne, grenat, pyroxène, etc.				
Série basaltoïde								
Roches englobantes	*Andésites augitiques, labradorites*	*Basaltes*	*Téphrites*	*Leucotéphrites*		*Néphélinites*	*Leucitites*	*Augitites et limburgites*
	—	—	—	—		—	—	—
Enclaves basiques	Diorites-diabases basiques		Diorites-diabases basiques	Roches à augite, mica, olivine, feldspath, leucite				
	—		—	—				
			Roches à augite, mica, pyroxène, olivine.	Roches à augite, mica, pyroxène, olivine, leucite ou haüyne.		Nodules à haüyne, nodules à pyroxène, mica, pérowskite, grenat.		
				—		—		
		Nodules à hornblende	—	Nodules à mica, pyroxène, hornblende.		Nodules à hornblende, mica, pyroxène, olivine, magnétite, etc.		Nodules à hornblende, mica, etc.
		Nodules à olivine[1].						

1. Les *nodules à olivine* se rencontrent *exclusivement* dans les roches basaltoïdes renfermant normalement de l'olivine.

gorie que l'on rencontre dans les *leucotéphrites*, les *leucitites* ou les *néphélinites*.

J'ai signalé plus haut la remarquable analogie des enclaves basiques à haüyne des leucitophyres du Kaiserstuhl et de celles des néphélinites ainsi que des leucitites.

En résumé, les enclaves basiques des roches volcaniques sont beaucoup moins caractéristiques de chacune d'elles que les enclaves ayant sensiblement la même composition que la roche englobante, ce qui, du reste, s'explique aisément.

III. Exposé du mode de formation probable des enclaves homœogènes.

(RELATIONS GÉNÉTIQUES ENTRE CELLES-CI ET LA ROCHE ENGLOBANTE)

a) *Généralités.*

L'exposé qui vient d'être fait des diverses catégories d'enclaves homœogènes des roches volcaniques montre que quelle que soit la nature de l'enclave considérée, qu'elle soit comparable à la forme grenue de la roche englobante ou qu'elle soit plus basique que celle-ci, il existe des relations minéralogiques intimes entre elle et la roche qui l'a amenée au jour.

Il s'agit maintenant d'expliquer le mode de formation de ces enclaves homœogènes.

Remarquons tout d'abord que :

1° *Dans les roches volcaniques trachytoïdes, les enclaves comparables à la forme grenue de la roche englobante sont fréquentes ;*

2° *Les enclaves basiques y sont généralement plus rares ;*

3° *Dans les roches volcaniques basaltoïdes, ces deux propositions sont renversées.*

Ces observations sont à opposer au fait, constaté dans

beaucoup de régions volcaniques que les roches basiques prennent souvent la structure holocristalline (*roches doléritiques*) dans les masses épaisses d'épanchement, refroidies lentement.

La rareté dans les roches volcaniques basiques des enclaves comparables à leur forme grenue, peut s'expliquer facilement. Les roches basaltoïdes sont, comme je l'ai fait remarquer plusieurs fois déjà, des roches de fusion purement ignée ; leurs éléments sont très fusibles, elles sont bonnes conductrices de la chaleur, aussi est-il probable que très près de la surface, elles étaient à une température trop élevée pour pouvoir cristalliser par une prise en masse.

Cette observation s'applique surtout aux *basaltes*. Quand cependant la cristallisation du magma a pu s'effectuer en profondeur, la roche formée est caractérisée par l'abondance de la hornblende, dont la production en grande quantité, dans un magma fondu, implique des conditions différentes de celles qui ont présidé à la cristallisation des roches d'épanchement.

Ce n'est donc point une différence de composition chimique, mais une différence de conditions physiques qui permet d'expliquer pourquoi un magma basaltique donne naissance à des roches amphiboliques, s'il cristallise en profondeur, et à des roches dépourvues d'amphibole, s'il se consolide à la surface du sol. Ce fait est bien mis en évidence par une expérience de MM. Fouqué et Michel Lévy, qui, fondant un mélange d'oligoclase et de hornblende, ont obtenu après recuit une roche microlitique formée d'oligoclase et d'augite. J'ai répété cette expérience en partant des enclaves de diorites-diabases qui nous occupent, et j'ai obtenu ainsi par un recuit suffisant la forme microlitique de ces roches.

Pour les *roches basaltoïdes à feldspathoïdes*, l'étude de leurs enclaves conduit à une autre remarque. Nous venons de voir que les roches basaltoïdes, simplement feldspathiques, s'étaient produites par fusion purement ignée, et que les minéralisateurs, ainsi que la pression, n'avaient influé sur leurs cristallisations profondes que pour y déterminer la production d'amphibole, plus rarement de mica.

Les expériences synthétiques de MM. Fouqué et Michel Lévy ont montré qu'il était possible de faire cristalliser dans le laboratoire par fusion purement ignée les *téphrites*, les *leucotéphrites*, les *néphélinites* et les *leucitites*. L'étude des enclaves homœogènes et énallogènes de ces dernières prouve que ces roches volcaniques basiques, produites par fusion ignée, ont été accompagnées en profondeur d'énergiques minéralisateurs qui ont permis le facile développement, parmi les produits cristallisés avant l'épanchement, de minéraux qui ne peuvent pas normalement prendre naissance par simple fusion. Au nombre de ces derniers, il faut placer en première ligne l'*orthose*.

Inversement, la rareté de la leucite dans les enclaves homœogènes des roches leucitiques, et son absence dans les roches grenues anciennes, notoirement produites en profondeur, viennent montrer que la production de la leucite est difficile, sinon impossible, dans les conditions favorables à la cristallisation de l'orthose.

On a vu plus haut, en effet, comment les leucotéphrites basiques de la Somma renferment des enclaves de *teschénites riches en orthose* et ne contiennent que rarement de la leucite, comment les leucitites du Latium sont en relations avec des roches riches en sanidine, associée à des minéraux basiques, et parfois aussi à de la leucite. Ces faits sont à rapprocher de l'observation faite récemment par M. Iddings,

à savoir que les roches d'épanchement à leucite de l'Absaroka sont en relation avec des minettes.

La clef de ces faits intéressants nous est donnée par une expérience de MM. Fouqué et Michel Lévy, qui ayant fondu (fusion sèche) un mélange de biotite et de microcline ont obtenu une leucitite à olivine[1]. C'est là une nouvelle preuve de ce fait qu'un même magma peut, suivant les conditions de sa cristallisation, donner naissance à des roches minéralogiquement différentes, dans ce cas particulier, à une roche à leucite (microlitique) ou à une roche à orthose (grenue).

Du reste, le rôle joué par les minéralisateurs dans le développement de l'orthose au sein du magma leucitique est bien mis en évidence par la production de ce minéral[2], associé à la fayalite (néochrysolite), à la sodalite dans les cavités de la leucotéphrite de l'éruption du Vésuve de 1631. Ces minéraux se sont produits au moment du départ des substances volatiles, mises en liberté par la consolidation de la roche; ils n'existent pas dans la pâte de celle-ci.

Il semble donc bien que les roches basiques à feldspathoïdes soient, au point de vue des phénomènes qui ont accompagné leur formation, intermédiaires entre les roches basiques de fusion purement ignée et les roches trachytoïdes dans la genèse desquelles les minéralisateurs ont joué un rôle plus important encore.

Ces roches trachytoïdes n'ont pu être reproduites jusqu'à présent par fusion purement ignée; les coulées les plus épaisses ne présentent pas, comme pour les roches basiques, de structure holocristalline grenue. On peut

1. *Synthèse des minéraux et des roches*, 1878, 78.
2. Ces associations sont à rapprocher de celles qui ont été décrites par M. Iddings dans les lithophyses des rhyolites du Yellowstone Park, où la *fayalite* accompagne l'*orthose*, le quartz, la tridymite, etc.

logiquement en conclure qu'il faut chercher ailleurs que dans le mode de refroidissement la cause de la structure grenue, présentée par les sanidinites et roches similaires. D'autre part, dans la première partie de ce mémoire, j'ai fait voir le rôle prépondérant joué par les minéralisateurs dans les transformations subies par les enclaves énallogènes des roches trachytoïdes. Nous sommes ainsi conduits à admettre que les conditions nécessaires à la production de la structure grenue dans les roches trachytoïdes ne sont réalisées qu'en profondeur, là où les minéralisateurs, agissant sous pression, permettent la cristallisation facile des substances qui ne se produisent pas par voie de fusion sèche.

On a vu plus haut que la leucite était relativement rare dans les enclaves homœogènes des roches leucitiques basiques. Il en est de même pour les roches trachytoïdes à leucite.

Dans le Kaiserstuhl, et à Roccamonfina, les enclaves grenues des *leucitophyres* sont constituées par des *syénites néphéliniques* sans trace de leucite, mais, à la Somma, j'ai recueilli des *sanidinites à leucite et sodalite* qui sont, sans aucun doute, liées aux *trachytes sodiques à leucite* du même gisement, sortes de leucitophyres qui semblent établir le passage des trachytes sodiques aux leucotéphrites à sanidine.

Dans beaucoup de ces sanidinites ou microsanidinites, la leucite est intacte, mais, dans quelques microsanidinites, ce minéral est pseudomorphisé en un mélange d'orthose, de sodalite et de néphéline, offrant la plus grande analogie de structure et de composition avec les sanidinites de la Somma. Ces pseudomorphoses de leucite sont identiques à celles qui ont été récemment décrites dans les syénites néphéliniques du Brésil et de l'Arkansas. On sait que ces

dernières roches constituent les seuls exemples actuellement connus de leucite dans des roches granitoïdes anciennes.

Ces pseudomorphoses semblent s'être produites par un mécanisme analogue à celui qui a transformé en orthose les cristaux de leucite d'une leucotéphrite, enclavée dans la lave de 1872; elles semblent dues à l'action de fumerolles qui ont traversé et imprégné la roche, postérieurement à sa solidification, qui s'est effectuée dans la cheminée volcanique.

Ces faits, joints à l'expérience synthétique citée plus haut, semblent prouver que la cause de l'absence ou tout au moins la grande rareté de la leucite dans les roches grenues, consolidées en profondeur, doit être cherchée dans l'influence des agents volatils, qui dans un magma fondu, ayant la composition de la leucite, favorisent la formation d'orthose et de néphéline ou de sodalite, alors que la leucite se produirait seule en l'absence de minéralisateurs. Des expériences synthétiques, reproduisant les conditions que je viens de spécifier, pourraient seules jeter du jour sur ce sujet, qui n'est pas très éclairci par les faits assez contradictoires qui ont été observés au Vésuve au sujet du mode de formation de la leucite. Dans la même éruption de 1872, on a vu, en effet, des cristaux de leucite se produire par voie de fumerolles autour d'enclaves de leucotéphrites anciennes, alors que le même minéral, formant partie intégrante d'autres échantillons de leucotéphrite, se transformait en orthose, également sous l'influence de fumerolles.

Les diverses considérations qui viennent d'être développées conduisent donc à admettre que toutes les enclaves homœogènes, aussi bien celles des roches basaltoïdes que celles des roches trachytoïdes, sont le résultat de cristalli-

sations en profondeur. Je veux dire par là qu'elles se sont produites antérieurement à l'épanchement du magma qui s'est solidifié sous forme de roche volcanique, sans préjuger en rien du point plus ou moins éloigné de la surface où se sont effectuées ces cristallisations.

Dans le cas le plus général, il semble même impossible d'avoir aucune notion précise à cet égard. Je citerai cependant quelques exceptions, celles, par exemple, de certaines sanidinites de la Somma[1] et de Procida[2], qui présentent des variations de structure et renferment des minéraux spéciaux, tout à fait comparables à ceux que j'ai observés dans des syénites néphéliniques de Montréal au contact de calcaires siluriens. J'ai cru pouvoir en conclure que ces sanidinites s'étaient formées à proximité d'une paroi calcaire, dont l'existence est rendue probable par les nombreux blocs calcaires que l'on rencontre associés aux roches qui nous occupent. Comme, d'autre part, ces calcaires sont d'âge secondaire ou tertiaire, on peut supposer que les sanidinites se sont produites dans la cheminée volcanique à une distance relativement faible de la surface.

J'ai signalé, en outre, à la Pulver Maar[3], une bombe à hornblendo, augite, etc., qui renfermait des fragments d'une enclave énallogène quartzeuse semblant indiquer une formation peu profonde.

b) Divers modes possibles de formation de ces enclaves.

Voyons maintenant comment on peut s'expliquer le mécanisme de la formation de ces enclaves homœogènes.

Faisons remarquer immédiatement qu'il serait illusoire de vouloir trouver une solution unique au problème.

1. p. 306 et 455.
2. p. 382.
3. p. 540.

On peut imaginer pour la genèse de ces cristallisations profondes les divers procédés suivants, entre lesquels il n'est pas toujours possible de se prononcer avec certitude.

1° La roche s'est formée par la réunion de grands cristaux du stade intratellurique de la roche volcanique englobante; il s'est produit ainsi un agrégat holocristallin ou semicristallin ayant nagé dans le magma à la façon d'un glaçon et n'ayant pas formé de roche en place; c'est là la définition des *ségrégations* que j'ai donnée, en commençant. Ces ségrégations, formées dans le magma, ont été charriées mais non arrachées par lui, elles ne constituent donc pas des enclaves, au sens strict du mot, mais elles présentent des passages si nombreux avec les véritables enclaves homœogènes que l'étude de ces divers produits ne saurait être séparée.

2° L'enclave est un fragment d'une roche solide formée par liquation du magma volcanique.

3° L'enclave est un fragment d'une roche solide résultant de la prise en masse du magma volcanique.

4° L'enclave s'est produite dans la cheminée volcanique à la faveur d'émanations ou de fumerolles.

Le premier mode semble pouvoir s'appliquer d'une façon presque générale aux enclaves plus basiques que la roche englobante, tandis que parmi les enclaves correspondant à la forme grenue de celle-ci, il existe des exemples nets des cinq modes de formation que je viens d'énumérer : le troisième semble toutefois être le plus fréquent.

1° *Formation par ségrégation.* — Dans les roches volcaniques de Santorin, M. Fouqué a montré que les feldspaths les plus basiques étaient toujours consolidés avant les autres. M. Rosenbusch a généralisé ce fait et énoncé cette loi que dans toutes les roches éruptives, les divers minéraux se succédaient suivant leur ordre de basicité.

Cette loi souffre des exceptions même dans les roches volcaniques; néanmoins elle est approximativement vérifiée par la considération des enclaves homœogènes basiques des roches volcaniques, en ce sens que dans une roche volcanique donnée, les ségrégations sont constituées par les éléments les plus basiques existant normalement ou dont les éléments chimiques existent dans le magma fondamental : mais leur ordre de consolidation n'est pas toujours celui de leur basicité relative.

Ceci étant posé, nous voyons que d'une façon générale les éléments constituant ces ségrégations seront : l'*apatite*, la *magnétite*, l'*ilménite*, la *biotite*, le *sphène*, l'*haüyne*, la *noséane*, la *néphéline* et les *feldspaths*, etc. Il sera donc aisé en parcourant le tableau de classification des roches donné plus haut, de voir quel genre de ségrégations on pourra rencontrer dans une roche volcanique déterminée. On pourra de même aisément comprendre pourquoi, dans une famille pétrographique donnée, les ségrégations seront plus fréquentes dans les types basiques que dans les types acides et que, d'autre part, leur composition minéralogique se simplifiera du type acide au type basique. C'est ainsi, par exemple, que les *trachytes à anorthose et biotite* du Cantal ou du Velay, qui sont très pauvres en éléments colorés, ne renferment qu'accidentellement des ségrégations du type diorite-diabase qui impliquent dans le magma l'existence de minéraux calciques et ferromagnésiens (feldspath, amphibole, pyroxène), alors que dans les *andésites à hornblende* de l'Eifel, de semblables ségrégations sont très abondantes, parce que le magma est lui-même relativement riche en feldspath triclinique et en minéraux colorés.

Remarquons du reste en passant, que les andésites à hornblende sont privilégiées au point de vue de ces

enclaves, ayant la composition de diorites-diabases, car ces enclaves peuvent dériver soit de la prise en masse du magma, soit de véritables ségrégations dans le cas où elles sont plus basiques que la roche englobante. La distinction entre ces divers modes de formation est à peu près impossible.

Si maintenant, nous considérons des roches de la même famille, mais plus basiques encore (*basalte*), leurs ségrégations ne comporteront plus guère que des minéraux ferrugineux ou ferromagnésiens ; ce ne seront plus des diorites-diabases, mais des nodules à hornblende.

L'amphibole, le mica, le pyroxène, l'olivine, les feldspaths tricliniques, l'apatite, le sphène, la magnétite, l'ilménite se rencontrent dans tous les magmas volcaniques, quelle que soit la famille à laquelle ils appartiennent. On s'explique, dès lors, que les ségrégations que constituent ces minéraux ne soient généralement pas caractéristiques d'un magma déterminé ; il faut pour qu'elles le deviennent qu'elles renferment en outre de la leucite, de la haüyne, etc., minéraux qui sont l'apanage de quelques-unes seulement des roches volcaniques. Le même ordre de considérations explique pourquoi dans les roches trachytoïdes, les phonolites plus basiques et plus alumineuses que les trachytes renferment des ségrégations basiques non feldspathiques qui manquent aux trachytes.

La légitimité de l'attribution de la plupart des enclaves basiques des roches volcaniques à des ségrégations semble faire peu de doute, d'autant plus que dans beaucoup de cas et dans toutes les catégories de roches, j'ai trouvé des échantillons où le mode de formation de ces agrégats cristallins est pris sur le fait, grâce à un résidu vitreux et à des passages insensibles avec la roche englobante. Ces ségrégations correspondent aux *intratellurische Concre-*

tionen ou *concretionäre Schlieren* [1] des auteurs allemands.

Quant aux enclaves ayant la composition de la roche grenue, il n'est pas possible d'en faire des ségrégations, puisque, par définition, une segrégation implique le départ des éléments les plus basiques du magma, et qu'à un moment donné la somme des éléments consolidés est plus basique que celle du magma non solidifié.

Dans les roches trachytoïdes de composition simple et dans celles dont les cristaux du stade intratellurique sont les mêmes que ceux de la pâte microlitique, on observe toutefois des agrégats d'orthose (dans trachyte), d'orthose, de pyroxène et de sodalite (dans phonolite) offrant quelque analogie avec les véritables enclaves de sanidinite ou de syénite néphélinique, mais devant cependant être considérés comme des agrégats de grands cristaux intratelluriques de la roche n'ayant pas formé de roche solide et ressemblant, par suite, aux ségrégations comme mode de formation.

2° *Formation par différenciation d'une partie du magma.* — Ce mode de formation ne diffère du précédent qu'en ce que les produits formés, au lieu de constituer un agrégat de grands cristaux flottant dans le magma, ont formé une roche solide, en place, résultant de la prise en masse d'une partie du magma différencié. De même que dans le cas précédent, la roche ainsi produite est plus basique que la roche volcanique.

Je veux faire allusion ici aux nodules à olivine dont j'ai discuté plus haut l'origine. Je les ai regardés comme intimement liés aux basaltes dans lesquels, par suite, ils ne constituent pas des enclaves énallogènes comme cela aurait lieu si l'on supposait qu'ils proviennent de la cristallisation

[1] Voy. Zirkel. *Lehrb. d. Petrographie.* 2ᵉ édit. I. 788. 1893.

totale d'un magma ayant eu primordialement la composition chimique de l'enclave.

Postérieurement à la formation de cette roche solide, l'éruption du magma basaltique sous-jacent, resté fluide ayant eu lieu, la partie consolidée a été disloquée. Le magma provenant de régions plus profondes et par suite plus chaudes, avait une température et une composition suffisantes pour fondre et modifier périphériquement les fragments péridotiques qu'il a englobés et amenés au jour.

3° *Formation par prise en masse du magma volcanique*. — Ce mode de formation me paraît être celui qui a été réalisé pour la plupart des enclaves que j'ai considérées comme représentant la forme grenue de la roche englobante, aussi bien dans la série trachytoïde que dans la série basaltoïde.

Dans un grand nombre de cas, j'ai signalé dans les *sanidinites* ainsi que dans certaines des enclaves des tufs de l'Italie méridionale (roches leucitiques et trachytiques), l'existence d'inclusions gazeuses et de déformations d'ordre physique et chimique, tellement identiques aux phénomènes du même ordre, présentés par les enclaves énallogènes des mêmes gisements, qu'il paraît bien difficile de ne pas admettre que ces enclaves ont formé des roches solides, arrachées en place et portées à une haute température, postérieurement à leur consolidation. Aucun de ces phénomènes ne se présente, du reste, dans les ségrégations.

Les relations existant entre la roche volcanique et celles des enclaves homœogènes, qui nous occupent ici, peuvent être interprétées de deux façons différentes.

a) Le magma ayant été consolidé en profondeur, plus tard, par suite de dislocations du sol, la roche ainsi formée a été remise en fusion et a donné naissance à la

roche volcanique qui a amené au jour des fragments de la roche primordiale, ayant échappé à la fusion.

b) Le magma se trouvant dans des conditions convenables s'est pris en masse à sa partie supérieure, produisant ainsi une roche solide au dessous de laquelle le même magma, situé dans des régions plus chaudes, est resté fluide ; ce dernier, au moment de l'éruption, a constitué la roche volcanique qui a entraîné des fragments de la croûte solidifiée.

J'ai cité en premier lieu la première hypothèse afin de l'éliminer tout d'abord. En effet, dans les nombreux cas que j'ai observés, il ne me paraît guère possible de l'appliquer, et encore avec restriction, qu'au cas des sanidinites à noséane du lac de Laach dont de nombreux échantillons présentent des phénomènes de dislocation et de fusion, conduisant par des étapes insensibles aux trachytes que l'on trouve en bombes dans le même gisement. Ces sanidinites sont les seules qui présentent la trace de phénomènes calorifiques vraiment intenses. Celles des autres gisements ont bien subi des phénomènes d'altération, mais ceux-ci semblent indiquer un arrachement brusque et non une fusion progressive.

Reste donc la seconde hypothèse qui me paraît, en général, la plus vraisemblable. Quant à savoir si ces cristallisations se sont effectuées à une très grande profondeur, si elles se sont effectuées dans des masses intrusives, arrêtées momentanément dans leur ascension à travers l'écorce terrestre, ou bien enfin si elles se sont produites à la suite d'éruptions, par cristallisation des portions du magma non épanché et resté dans les canaux souterrains [1],

1. Cette explication a été proposée par M. Graeff pour expliquer les enclaves des leucitophyres du Kaiserstuhl.

il y a là matière à dissertations qui, d'une façon générale, ne sont pas susceptibles de grande précision.

La structure des microsanidinites et leurs passages à des roches microlitiques, ainsi que les phénomènes de contact que j'ai signalés dans quelques sanidinites italiennes, me paraissent toutefois indiquer que, dans ces cas particuliers, le magma était en voie d'ascension quand la cristallisation de ces roches s'est effectuée et qu'elle s'est achevée à une profondeur relativement faible, parfois à proximité d'uno paroi sédimentaire.

On peut faire, en outre, une autre remarque. Si l'on imagine qu'au dessous de la roche solidifiée se trouve une partie du même magma non consolidé, devant former plus tard la roche volcanique, pour que cette dernière ait sensiblement la même composition chimique que sa croûte solidifié, il paraît nécessaire qu'il ne se soit pas écoulé un intervalle de temps trop considérable entre la première cristallisation et l'épanchement. S'il en était autrement, le magma fluide aurait eu le temps de se différencier[1] et si ces phénomènes se sont produits dans une cheminée souterraine, à proximité de parois solides, le magma aurait pu se modifier encore par corrosion de ces dernières, comme cela semble avoir eu lieu pour les sanidinites de Procida et de la Somma dont il vient d'être question. Peut-être pourrait-on, par un mécanisme de ce genre, expliquer les différences de composition qui peuvent, dans certains cas, exister entre les roches volcaniques et les enclaves que je rapporte à leur forme grenue.

Les enclaves que je considère comme formées sous l'influence des conditions 2 et 3, constituent les *endogene Einschlüsse* des auteurs allemands.

1. On retombe ainsi au cas étudié en 2°.

3° *Formation par voie de fumerolles dans la cheminée volcanique.* — Ce mode de formation peut s'appliquer à quelques sanidinites. J'ai décrit des enclaves de trachyte dans d'autres trachytes, entourées d'une gaîne holocristalline dont la structure et la composition sont identiques à celles de véritables sanidinites. De même, dans le chapitre consacré aux calcaires de la Somma, on a vu que les druses des calcaires de ce gisement étaient souvent remplies par des agrégats holocristallins de composition variée, dont quelques-uns offrent la plus grande analogie avec les sanidinites de profondeur, tant au point de vue de la structure que de la composition minéralogique. Le plus souvent, il existe dans ces roches des minéraux, tels que le grenat mélanite, l'idocrase, dont la présence peut être attribuée à une action de contact.

Dans ces divers cas, la formation des sanidinites ne peut guère être attribuée qu'à l'action de fumerolles qui ont, en même temps, plus ou moins profondément modifié les roches au contact desquelles se sont produits les agrégats cristallins qui nous occupent. Ces sanidinites sont remarquablement fraîches et dépourvues de tout phénomène d'altération et de corrosion.

Formation de produits analogues aux enclaves homœogènes par modification d'enclaves énallogènes. — En terminant, je rappellerai que dans les trachytes de Menet et de plusieurs autres gisements, j'ai montré comment des enclaves quartzo-feldspathiques avaient donné naissance, par leur résorption et leur recristallisation, à des roches très analogues aux véritables sanidinites dont elles ne se distinguent guère que par l'existence de fragments anciens et par l'absence de phénomènes dus à l'action de la chaleur ou du magma trachytique qui les englobe.

De même, quelques-unes des enclaves énallogènes des

trachytes présentent une grande ressemblance avec les ségrégations des mêmes roches; elles ne peuvent souvent en être distingués avec certitude en l'absence de produits anciens intacts.

La même observation peut être faite au sujet des enclaves micacées du granite parmi lesquelles il est parfois difficile d'établir une limite précise entre les véritables enclaves énallogènes modifiées et les ségrégations.

APPENDICE[1]

Au cours de l'impression de ce mémoire, j'ai recueilli quelques documents qui n'ont pu être placés à temps dans mon texte, et dont je donne ici une brève analyse.

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE I

§ III

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme.* — M. P. Gautier m'a remis des enclaves granitiques qu'il a recueillies dans la *néphélinite* grenue du puy de Saint-Sandoux que j'ai récemment décrite[2]. Elles présentent les modifications habituelles des enclaves similaires des basaltes de cette région. On y voit notamment de beaux exemples de feldspaths recristallisés en baguettes cristallitiques, qui sont entourées de microlites arborisés, disséminés avec de l'augite dans du verre. L'une d'elles est remarquable par sa richesse en petits cristaux de corindon bleu.

1. Page 56. Dans le résumé des modifications exercées par les roches basaltoïdes sur leurs enclaves quartzofeldspathiques, la phrase suivante a été oubliée dans la mise en pages (page 56 après la ligne 15) : « L'action de la chaleur sur l'orthose ancienne a pour résultat de diminuer l'écartement des axes optiques; souvent même le minéral est presque à un axe ou même le plan des axes devient parallèle à g^1 (010) [orthose déformée]. »

2. *C. Rendus*. 8 mai 1893.

Des enclaves trouvées par le même savant non loin de Saint-Sandoux, au Puy de Peroneyre offrent la plus grande analogie avec celles de la Bastide, près Lastic (Pl. II, fig. 5 et page 77). Elles sont entièrement recristallisées. L'augite y forme par places des groupements de grosses baguettes à formes nettes et se trouve aussi en fines aiguilles dans le feldspath. Une petite quantité de verre est transformée en chlorite sphérolitique. Il existe, en outre, de la magnétite et des lamelles translucides d'ilménite.

Je dois à l'obligeance de M. de Launay des échantillons de *tuf trachytique* (*orthophyrique*) du terrain anthracifère de Montmartin près Châteauneuf, qu'il a recueillis[1] au contact d'un filon de *basalte* ou dans le basalte lui-même. Ce basalte renferme aussi des enclaves d'orthose; elles sont partiellement fondues et séparées du basalte par une mince couche vitreuse, riche en microlites d'augite.

Le tuf est constitué par des fragments clastiques d'orthose, d'oligoclase, de biotite, des cristaux d'apatite et de zircon, disséminés dans un magma amorphe très riche en produits siliceux secondaires.

Au contact immédiat du basalte, la pâte de ce tuf est entièrement transformée en un verre incolore; les feldspaths anciens et le quartz sont fondus sur les bords, le quartz prend des apparences de cristaux bipyramidés. Le mica conserve sa forme, mais est entièrement transformé en un mélange de spinellides et de microlites d'hypersthène, on reconnaît là les pseudomorphoses *en buisson*. L'hypersthène se développe en microlites ou en trichites dans la matière vitreuse et vient surtout s'accumuler à la périphérie des cristaux anciens de quartz. Tous les élé-

1. *Bull. Soc. géol.*, 3e série, XVI, 1086, 1888.

ments primordiaux de la roche sont extrêmement riches en inclusions gazeuses d'origine secondaire. La roche ainsi modifiée présente une certaine analogie avec une *rhyolite*. Ce même basalte renferme des enclaves de quartz présentant les modifications habituelles.

Haute-Loire. — J'ai recueilli dans le *basalte* du Pertuis un petit fragment de granulite à corindon bleu. Au contact du basalte, la fusion et la recristallisation ont été complètes, donnant ainsi naissance à une roche analogue à celle qui est représentée par la fig. 1 de la Pl. III. Les microlites de biotite y sont plus abondants.

Faujas de Saint-Fond a appelé autrefois l'attention[1] sur le dyke basaltique de la Roche rouge, près Le Puy, perçant le granite et en renfermant de nombreux fragments. Depuis lors, ce gisement a été fort souvent cité[2]. Les enclaves granitiques que j'en ai observées ne présentent que les phénomènes de fusion habituels avec recristallisations sans particularités intéressantes. Les couronnes d'augite autour des enclaves de quartz sont particulièrement belles.

Ardèche. — Des enclaves de granulites dans le basalte du pont de la Baume sont intéressantes en ce que la biotite presque seule a été fondue. Elle conserve encore sa forme, elle est entourée de microlites pyroxéniques noyés dans un verre incolore. Il n'y a pas d'autre produit recristallisé.

Iles Britanniques. — *Nord de l'Angleterre*. — La fig. 1 de la Pl. II représente un bel exemple de la démolition rectangulaire par fusion d'un feldspath enclavé dans une *labradorite*. Je dois l'échantillon dessiné à l'obli-

1. *Recherches sur les volcans éteints du Vivarais*, 1778, p. 364.
2. Voir notamment Becker, *Zeitschr. d. d. geol. Gesellsch.*, XXX, 37, 1881.

geance de M. Trechmann; il provient de la carrière de Great Ayton, ouverte dans le célèbre dyke de Cleveland.

Hébrides. — Pendant l'impression de ce mémoire, M. J.-W. Judd a publié un travail[1] sur des enclaves de granite dans les gabbros tertiaires des Cuillin Hills (Ile de Skye). Elles sont partiellement fondues. Ce qui les caractérise, c'est la production d'énormes sphérolites, parfois développés autour de fragments de micropegmatite ancienne et présentant ces types si curieux qui ont été décrits par MM. Iddings[2] et Whittman Cross[3] dans les rhyolites du Yellowstone Park et d'autres régions américaines. Ces sphérolites, affectant parfois des formes plumeuses, sont constitués par du feldspath et du quartz (formés par voie secondaire aux dépens de tridymite?); les fibres feldspathiques sont allongées suivant l'axe vertical (orthose déformée ou non déformée suivant les cas, avec macles de Manebach fréquentes). L'analogie de ces sphérolites avec ceux du Yellowstone Park est rendue plus frappante par l'existence dans leurs cavités de la *fayalite*, parfois accompagnée de pyrite secondaire.

Ces sphérolites varient de moins d'un millimètre à six centimètres de diamètre. Je n'ai rien observé de semblable dans aucun des gisements que j'ai étudiés.

Irlande. — J'ai retrouvé récemment des échantillons que j'ai recueillis en 1884 dans le gisement célèbre de Portrush. Sur le bord de la mer, le *basalte ophitique* injecte des argiles liasiques; la roche modifiée est noire compacte, elle a parfois l'aspect d'un basalte, et comme d'autre part elle renferme par places des fossiles, d'anciens

1. *Quaterly Journ. of the geol. Society*, XL, IX, 184, 1893.
2. *Obsidian Cliff.*, *op. cit.*, 1885, et *Bull. philosoph. Soc. Washington.* XI, 1891.
3. *Id.*, XI, 1891.

auteurs l'ont citée comme un argument en faveur de l'origine aqueuse du basalte. La véritable nature de cette roche a été indiquée par Playfair [1].

Je ne crois pas qu'elle ait été décrite au point de vue minéralogique. Elle présente la plus grande analogie avec certaines enclaves argileuses des basaltes. Elle est presque entièrement formée par de la *cordiérite*, se présentant, par places, en cristaux nets, grâce à un résidu colloïde ; la roche est en outre extrêmement riche en cristallites de pyroxène accompagnés d'un peu de magnétite. Ça et là, s'observent de petits grains de quartz intact.

Ce produit du métamorphisme de contact du *basalte* rappelle celui de l'*andésite augitique* du Rio Tieté (prov. de S. Paulo, Brésil) récemment décrit par M. Hussak [2]. Dans ce gisement, le contact de la roche éruptive et d'un grès est formé par un hornfels, constitué par de la cordiérite en cristaux nets, accompagnés de cristallites pyroxéniques et ferrugineux dans un résidu vitreux.

Saxe. — Dans le même mémoire, M. Judd décrit [3] des enclaves de porphyre dans la *néphélinite* d'Ascherhübel, près Grüllenberg; elles y sont extrêmement abondantes et ont été antérieurement étudiées par M. Sauer [4]. La roche englobée est transformée en un verre à cassures perlitiques renfermant des sphérolites incolores ou brunâtres, de la magnétite, du spinelle, etc. ; le contact avec la roche volcanique est formé par une zone d'augite.

M. de Kroustchoff a décrit [5] du zircon néogène, engagé

1. Voy. à cet égard le mémoire de M. Archibald Geikie, *Transact. of the royal. Society of Edingburgh* XXXV. part. 2. 1888. 112, dont la lecture m'a rappelé mon ancienne observation.

2. *Bolet. da Commissão geogr. e geol. do Estado de S. Paulo.* n° 7. 23. 1890.

3. *Op. cit.*, p. 177.

4. *Erlaüter. z. geol. Specialkarte Sachsen*, section Tharandt.

5. *Tschermak', miner. u. petr. Mittheil.*, VII, 300, 1886.

dans le verre d'une enclave granitique d'un *basalte* du Striegau.

Prusse rhénane. — *Région du lac de Laach*. — Aux enclaves quartzo-feldspathiques décrites plus haut à Niedermendig, il faut ajouter des gneiss, riches en sillimanite, dont les fibres plus ou moins enchevêtrées sont entremêlées de spinelle vert néogène. Le grenat est fondu en un verre brunâtre renfermant des spinellides et des microlites de pyroxène. Un des échantillons, que j'ai étudiés, renferme des moules constitués par des aiguilles de sillimanite, de spinelle et de petits grains ou cristallites de corindon, rappelant les pseudomorphoses d'andalousite, décrites dans les enclaves gneissiques des trachytes.

Hesse. — J'ai examiné un fragment d'une roche gneissique riche en sphène enclavée dans le *basalte* de Mitlechtern. Le sphène est entouré d'une zone noire opaque : le mica est en partie fondu et transformé en petits grains de magnétite entourés par de l'augite néogène : celle-ci, au lieu de constituer de petits microlites à orientation quelconque, présente la même orientation dans un même squelette de mica, auquel elle constitue un cadre cristallin. L'enclave est parcourue par des filonnets microlitiques pauvres en pyroxène (voy. p. 121).

Mexique. — *Jorullo*. — MM. Félix et Lenk ont récemment décrit[1] des enclaves de *diorites micacées quartzifères* provenant du Jorullo. Le *quartz* et les *feldspaths* (triclinique et monoclinique) sont à peu près intacts : ils se chargent seulement d'inclusions vitreuses secondaires ; les inclusions primaires liquides sont vidées.

1. *Beiträge z. Geologie u. Paläontologie der. Rep. Mexico*, Leipzig, 1891, p. 42.

La biotite et l'augite verte fondent en un verre coloré, riche en magnétite.

Les mêmes auteurs ont trouvé en outre en enclaves, une roche d'augite et de scapolite (?), un schiste à tourmaline.

Je dois à l'obligeance de M. A. del Castillo une bombe basaltique provenant de ce volcan : son centre est constitué par un noyau dioritique. Celui-ci est en partie fondu, et scorifié ; le mica est entièrement détruit : les modifications sont celles qui viennent d'être indiquées.

§ IV

Plateau Central de la France. — *Ardèche.* — M. Gaubert m'a remis de nombreux fragments de *norite* qu'il a recueillis en même temps que des leptynites grenatifères dans les *scories basaltiques* du volcan de Chenavari près Rochemaure. Elles présentent rarement des phénomènes de transformation qui sont alors identiques à ceux que représente la fig. 5 de la Pl. VIII; l'un des échantillons renferme, en outre, des octaèdres de spinelle vert, englobés dans du feldspath recristallisé.

§ II

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme.* — J'ai eu l'occasion d'examiner un échantillon de leptynite, englobée dans la dômite du puy de Sarcouy : les phénomènes de fusion intense sont identiques à ceux que j'ai signalés, p. 190, dans les enclaves de la dômite du sommet du Puy-de-Dôme. Dans la roche qui m'occupe ici, il existe beaucoup de sillimanite, dont une partie au moins pourrait s'être produite ainsi que de petites lamelles de biotite, aux dépens de biotite ancienne.

Algérie. — *Constantine*. — M. Gentil m'a communiqué d'intéressantes enclaves de gneiss à andalousite, sillimanite et cordiérite, recueillies dans une *andésite* quartzifiée des environs de Collo, dont les druses lui ont fourni de très beaux cristaux d'apophyllite, laumonite, etc. La roche enclavée présente une grande analogie avec les gneiss du Capucin : les feldspaths (monoclinique ou triclinique suivant les échantillons) paraissent néogènes ; il existe parfois beaucoup de spinelle vert récent. Ces enclaves sont riches en zéolites et quartz secondaires qui renferment localement des houppes de tourmaline bleue, également secondaire.

§ V

Somma. — Au moment du tirage de cette feuille, a paru un mémoire de M. Johnston-Lavis, sur les blocs de *calcaires stratifiés* des tufs de la Somma[1]. Je regrette d'autant plus de n'avoir pas la place d'analyser ce travail qu'il est consacré à une catégorie de calcaires dont je n'ai étudié qu'un très petit nombre d'échantillons (pp. 290 et 300). D'après l'auteur, les calcaires sédimentaires se modifient de la façon suivante : tout d'abord leur matière charbonneuse se transforme en graphite, et le calcaire recristallise sous forme grenue, puis apparaît du péridot, qui peu à peu remplace le graphite. Ce calcaire à péridot passe par places à des masses entièrement silicatées (péridot, pyroxène blanc, wollastonite, biotite, etc.). Les minéraux se produisent, d'après l'auteur, dans l'ordre suivant : (1) péridot, périclase, humite ; (2) spinelle, mica, fluorine, galène, pyrite, wollastonite ; (3) grenat, idocrase, néphéline, sodalite, feldspaths ; (4) calcite (secondaire). La périclase ne se rencontrerait jamais avec le graphite.

1. *Transact. of the Edingburgh geol. Society*, VI, 314, 1893.

D'après M. Johnston Lavis, toutes ces modifications se sont produites, non par fusion ignée, mais grâce à l'action de vapeurs ou de circulation d'eau, en relation avec le magma igné voisin, une partie des éléments des minéraux métamorphiques étant fournie par le calcaire.

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE I

Plateau Central de la France. — *Puy-de-Dôme.* — J'ai trouvé au Capucin (Mont-Dore) un bloc d'une roche blanche, ayant l'aspect d'une aplite à grains très fins. C'est une *microsanidinite*, formée d'orthose avec un peu de magnétite : elle rappelle quelques microsanidinites du Monte Olibano. Le feldspath renferme quelques inclusions globuleuses d'augite. Un autre échantillon est de couleur gris foncé, il est riche en biotite et en augite. Il renferme de grands cristaux porphyriques d'orthose, qui ont été plus ou moins corrodés et transformés en petites géodes que tapissent de l'orthose, de la tridymite, de l'augite. La biotite est criblée de produits ferrugineux.

Enfin, j'ai observé récemment une *sanidinite* de sublimation du roc de Cuzeau à plus grands éléments que celle qui est figurée Pl. V, fig. 7. L'augite œgyrinique y est abondante, observe en outre de longs cristaux de zircon.

Prusse rhénane. — *Eifel.* — Les *tufs leucitiques* de Hohenfels, Betteldorf, des environs de Rockeskyll (au Kyllerkopf et au Gippenberg) renferment des fragments épars de *sanidine* remarquables par leur limpidité. Ils ont été depuis longtemps signalés par Steininger[1], Mits-

1. *Geognostische Studien*, 45, 1819. D'après Steininger, ces fragments d'orthose ont été exploités pour une fabrique de porcelaine.

cherlich-Roth[1] et von Dechen[2]. Ils possèdent une orientation optique unique, sont souvent dépourvus de formes géométriques et généralement arrondis. Roth en a signalé des échantillons entourés par un *trachyte à hornblende*.

Ces fragments de feldspaths paraissent être en relations, non avec les roches leucitiques basiques qui les accompagnent, mais avec des trachytes ; ces roches existent du reste à l'E. et au N.-E. de l'Eifel. Aux environs de Rockeskyll, on a trouvé en outre des bombes à sanidine et biotite, parfois schisteuses, d'autres à sanidine et hornblende, à sanidine, apatite et haüyne, etc., qui semblent bien indiquer la parenté d'origine de ces fragments à sanidine avec les *sanidinites*.

La même origine doit être attribuée à la sanidine des *tufs trachytiques* de Wehr, dans la région du lac de Laach. Comme celle de Rockeskyll, elle a servi à Heusser et à M. des Cloizeaux pour leurs études optiques.

CHAPITRE II

Gisements divers. — J'ai eu l'occasion d'étudier des *nodules à olivine* englobés dans les *néphélinites à olivine* d'Essey-la-Côte (Vosges), et de Rougiers (Bouches-du-Rhône), ainsi que dans les *leucotéphrites à olivine* d'Aïn-Témouchent (Oran). Ces derniers m'ont été respectivement communiqués par MM. Collot et Gentil.

1. E. Mitscherlich, *Ueber die vulkanische Erscheinungen in der Eifel*, herausgegeben von J. Roth. — *Abhandl. Königl. Akad. Wissensch. Berlin*, 1865, p. 31.
2. *Geogn. Führer zu der Vulkanreihe der Vorder. Eifel*, 2e édit. 1886, p. 117 et 138.

INDEX GÉOGRAPHIQUE

DES LOCALITÉS CITÉES DANS CE MÉMOIRE

AVEC INDICATION DE LA ROCHE VOLCANIQUE ENGLOBANTE ET DES ENCLAVES QUI Y ONT ÉTÉ ÉTUDIÉES.

A

1. Le nom de chaque gisement est suivi de l'indication de la région où il se trouve (*en italiques*). Il n'a pas été fait de renvois aux paragraphes de *résumé* et *conclusion*, ni à la III[e] partie.

2. Les enclaves homœogènes sont écrites en *italiques* : celles qui se rencontrent dans des roches autres que celles avec lesquelles elles sont en relations génétiques sont placées entre [ ].

Les enclaves dessinées sont suivies du numéro de la figure qui les représente : les numéros des figures intercalées dans le texte sont en *italiques*, ceux des figures des planches en **caractères gras**.

Je n'ai cité dans cet index que les enclaves décrites dans mon mémoire ; sans vouloir faire un catalogue de toutes les enclaves qui ont pu être signalées dans chaque localité citée ici.

B

C

D

E

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

T

U

V

W

Z

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

ENCLAVES ÉNALLOGÈNES

CHAPITRE PREMIER

MODIFICATIONS SUBIES PAR LES ROCHES ENCLAVÉES DANS LES ROCHES BASALTOÏDES

§ I. Enclaves de roches exclusivement quartzeuses.

§. II. Enclaves d'argiles et de schistes argileux.

§ III. Enclaves de roches quartzofeldspathiques.

§ V. **Enclaves de calcaires.**

APPENDICE

ENCLAVES DANS LES ROCHES BASALTOÏDES ANCIENNES

CHAPITRE II

MODIFICATIONS SUBIES PAR LES ENCLAVES DES ROCHES TRACHYTOÏDES

§ I. **Enclaves de roches exclusivement quartzeuses et enclaves de schistes argileux.**

§ II. Enclaves de roches quartzofeldspathiques.

§ III. Enclaves de roches silicatées non quartzifères.

DEUXIÈME PARTIE

ENCLAVES HOMŒOGÈNES

Enclaves de roches en rapport de composition et d'origine avec le magma de la roche englobante.

CHAPITRE PREMIER

ENCLAVES HOMŒOGÈNES DES ROCHES TRACHYTOÏDES

§ I. Trachytes et andésites acides avec ou sans biotite ou hornblende.

§ II. **Trachytes à œgyrine.**

§ III. **Trachytes à haüyne.**

§ IV. Phonolites et leucitophyres.

§ V. Tufs trachytiques et leucitiques de l'Italie méridionale et centrale.

CHAPITRE II

ENCLAVES HOMŒOGÈNES DES ROCHES BASALTOÏDES

§ I. Roches basaltoïdes à feldspaths seuls.

(ANDÉSITES AUGITIQUES, LABRADORITES, BASALTES)

1° Enclaves feldspathiques.

2° Enclaves non feldspathiques.

A) Nodules à hornblende et pyroxène.

B) Nodules à olivine.

§ II. **Roches basaltoïdes à feldspaths et feldspathoïdes (néphéline ou leucite.)**

(TÉPHRITES, LEUCOTÉPHRITES)

1° *Enclaves feldspathiques.*

α. *Téphrites.*

β. *Leucotéphrites.*

2° *Enclaves non feldspathiques.*

A) Nodules à hornblende, mica, etc.

α. *Téphrites.*

β. *Leucotéphrites.*

B) Nodules à olivine.

§ III. Roches basaltoïdes sans feldspaths.

(LEUCITITES, NÉPHÉLINITES ET BASALTES MÉLILITIQUES, AUGITITES, LIMBURGITES)

1° *Enclaves avec néphéline ou leucite.*

TROISIÈME PARTIE

CONCLUSIONS AUXQUELLES CONDUIT L'ÉTUDE DES ENCLAVES DES ROCHES VOLCANIQUES

AVANT-PROPOS

CHAPITRE PREMIER

ENCLAVES ÉNALLOGÈNES

Contribution à l'étude du métamorphisme dû aux roches volcaniques.

§ I. Généralités.

§ II. Roches basaltoïdes.

Modifications indépendantes de l'action chimique du magma de la roche volcanique.

Modifications dues à l'action du magma volcanique et modifications endomorphes subies par celui-ci.

§ III. Roches trachytoïdes.

Modifications indépendantes de l'action chimique du magma volcanique.

Modifications chimiques subies par les enclaves et modifications endomorphes de la roche volcanique.

CHAPITRE II

ENCLAVES HOMŒOGÈNES

Contribution à l'étude des formes grenues et des ségrégations des roches volcaniques.

§ I. Généralités.

§ II. Résultats pétrographiques auxquels conduit l'étude des enclaves homœogènes.

RELATIONS MINÉRALOGIQUES ENTRE CELLES-CI ET LA ROCHE VOLCANIQUE QUI LES ENGLOBE

α) *Enclaves homœogènes comparables à la forme grenue de la roche englobante.*

1. Ces divisions correspondent à celles dans lesquelles les enclaves de ces divers gisements auraient dû être placées.

DEUXIÈME PARTIE

ERRATA

Page 44, ligne 22, *au lieu* de Tewen, *lire* Tewan.
— 111, — 4 en remontant, *au lieu* de Shalkenmehrer, *lire* Schalkenmehrener.
— 111, — 4 en remontant, *au lieu* de Gemunder, *lire* Gemündener.
— 53, — 19, *au lieu* de Dachelsberg, lire Dächelsberg.
— 56, — 15, voy. la note 1 de la page 651.
— 111, — 4 en remontant, *au lieu* de Weinsfelder, *lire* Weinfelder.
— 120, — 12, *au lieu* de Neurod, *lire* Naurod.
— 122, — 7, *au lieu* de Habitschwald, *lire* Habichtswald.
— 123, — 4 et 3 en remontant, *au lieu* de basalte à mélilite, *lire* basalte mélilitique.
— 125, — 4 en remontant, *au lieu* de Chrustschoff, *lire* Kroustchoff.
— 130, — 15, *au lieu* L'hypersthène, puis, *lire* L'hypersthène et.
— 137, — 3 et 5 en remontant, *au lieu* de Roche Sauve, *lire* Rochesauve.
— 144, — 8 en remontant, *ajoutez* D'autres fois ils se transferment en marbre.
— 198, — 8, *ajoutez* après s'enchevêtrent (Pl. V, fig. 5)
— 236, — 8 en remontant, *au lieu* de II, *lire* III.
— 252, — 11 en remontant, *supprimez* : A. *Enclaves dans andésites et phonolites.*
— 257, — 14 on remontant, *au lieu* de acide, *lire* relativement acide.
— 289, — 4 en remontant, *avant* calcaire, *mettre* 1°.
— 324, dans le tableau B, *après* quelconque, *ajoutez* ou en zones, mais sans druses.
— — — *après : galène, ajoutez graphite.*
— 433, 5, *au lieu de* (Pl. III, fig. 3), *lire* (Pl. VI, fig. 3).
— 479, 4, *au lieu de attaqué lire* inattaqué.

EXPLICATION DES PLANCHES

PLANCHE I

Fig. 1. — **Quartz** enclavé dans le *basalte porphyroïde* de Thiézac (Cantal) : *page 23*. Le quartz (1), en partie fondu, est disséminé dans un verre (v) qu'entoure une zone de microlites d'*augite*, mélangée d'un peu d'*oligoclase* : au delà, on observe le basalte avec sa composition normale (pyroxène 20.)

Fig. 2. — **Quartz** enclavé dans l'*andésite à hypersthène* du Georgios (Santorin, éruption de 1866) : *page 166*. Le quartz (1) est en partie fondu et par places entouré de *wollastonite* (w). La roche volcanique est formée par de grands cristaux d'*hypersthène* et de *labrador*, disséminés au milieu de microlites d'*oligoclase*.

Fig. 3. — **Gneiss granulitique** des *tufs basaltiques* de la Denise (Haute-Loire) : *page 94*. La roche est formée de *quartz* (1), d'*oligoclase*, de *grenat* : tous ces minéraux sont englobés par de l'*orthose*, imbibée de produits ferrugineux (3).

Fig. 4. — **Micaschiste feldspathisé**, englobé dans le *basalte porphyroïde* de Thiézac (Cantal). Bloc erratique recueilli entre Caillac et Vézac : *page 85*. Il ne reste plus que du quartz (1) comme minéral ancien, noyé dans du verre et accompagné de fibres de *sillimanite* (*s*) et de cristaux nets de *cordiérite* récente (15).

Fig. 5. — **Quartz** englobé dans la *labradorite* de l'Etna (éruption de 1883) : *page 41*. Le *quartz* (1) ancien est noyé dans le verre résultant de sa fusion et accompagné de *tridymite*; la roche volcanique imprègne l'enclave.

Fig. 6. — **Granite** enclavé dans le *basalte* de Gravenoire (Puy-de-Dôme) : *page 61*. Les éléments anciens : *biotite* (19), *orthose* (3), *quartz* (1), sont englobés dans une pâte feldspathique, rappelant celle des trachytes.

Fig. 7. — **Nodule récent** dans une *leptynite* des *tufs basaltiques* du Coupet (Haute-Loire) : *page 98*. La leptynite est constituée par du *quartz* (1), de l'*oligoclase* (6). Le nodule est formé de *felds-*

path triclinique basique (6'), d'*hypersthène* et de *spinelle* récents : il contient par places des fragments de feldspaths anciens, criblés d'inclusions vitreuses (22). Ce nodule est séparé de la leptynite par une zone vitreuse, renfermant quelques microlites filiformes de *feldspath*.

FIG. 8. — **Cristallites de pyroxène et de spinelle** formés dans le verre résultant de la fusion totale d'une enclave du *basalte* de Thiézac, semblable à celle qui est représentée par la figure 4 (*page* 85).

FIG. 9. — **Orthose** enclavée dans le *basalte* de Montaudou (Puy-de-Dôme) : *page* 64. Le fragment enclavé est séparé du basalte par une zone vitreuse, dans laquelle s'observent quelques microlites d'*augite* et de *feldspath*.

FIG. 10. — **Granulite** englobée dans une *scorie basaltique* de Tareyre (Puy-de-Dôme) : *page* 95. En bas, on voit le basalte. La granulite a été en partie fondue et transformée en ponce bulleuse à structure un peu sphérolitique, dans laquelle se rencontrent des fragments anciens de *quartz* (1) et d'*orthose* (3).

FIG. 11. — **Micaschiste feldspathisé**, englobé dans le *basalte* de Thiézac : *page* 84. C'est la même roche qui a été figurée en 4 et 8 : cet échantillon est plus feldspathique. Le *quartz* (1) et l'*orthose* (3) anciens sont entourés par du *feldspath* récent en gerbes et par un peu de verre.

FIG. 12. — **Leptynite** des tufs basaltiques d'Espaly (Haute-Loire) : *page* 105. Le *quartz* (1) et l'*orthose* (3) anciens sont entourés par un verre bulleux (v), vaguement sphérolitique renfermant de petits cristaux de *cordiérite* (15).

PLANCHE II

FIG. 1. — **Orthose** enclavée dans la *labradorite* du Cleveland dyke (Great Ayton Quarry, Yorkshire), *page* 653, et montrant la fusion et la démolition rectangulaires.

FIG. 2. — **Granite** enclavé dans les *pépérites* du roc de Plasse (Puy-de-Dôme) : *page* 63. Fusion en dent de scie de l'*orthose* (3) et de l'*oligoclase* (6). Le verre renferme des globules plus foncés, en partie transformés en produits ferrugineux colloïdes.

FIG. 3. — **Granite** enclavé dans l'*andésite augitique* de la coulée du Winfeld (Ettringer Bellenberg) : *page* 114. Au contact

avec la roche volcanique, on observe une zone formée de gros microlites diabasiques de *feldspath triclinique*, associés à de l'*augite*. Plus loin, le *quartz* ancien (1) est entouré de gerbes et de larges sphérolites de *feldspath* récent, également accompagné de microlites d'*augite*. On distingue aussi de l'*orthose* en voie de fusion.

Fig. 4. — **Granite** enclavé dans le *basalte* de Dorgali (Sardaigne) : *page 127*. Le granite formé de *quartz* (1) et d'*orthose* (3) en voie de fusion, est imprégné par le basalte; celui-ci est modifié par l'absorption d'éléments acides, et possède localement l'apparence d'un trachyte.

Fig. 5. — **Enclave feldspathique** du *basalte* de la Bastide, près Lastic (Puy-de-Dôme), entièrement fondue et recristallisée : *page 77*. Le feldspath récent a emprisonné des microlites de pyroxène, régulièrement orienté sur lui. Par places, il existe des sphérolites feldspathiques (49).

Fig. 6. — **Granite** englobé par le *basalte* de Montaudou (Puy-de-Dôme) : *page 64*. Cette figure est destinée à montrer la disposition alvéolaire du feldspath en voie de fusion; celui-ci est entouré par le feldspath récent. Le mica se transforme en *hypersthène* et *spinelle* : il existe un peu d'*augite* récente (20).

Fig. 7. — **Granite** englobé par l'*andésite augitique* entre Ettringen et Hochsimmer : *page 113*. Les éléments anciens sont du quartz (1) et de l'orthose (3). Ce dernier minéral fond et sur lui, s'oriente le feldspath récent, accompagné d'*augite* et de verre.

Fig. 8. — **Enclave feldspathique** d'une *leucotéphrite* du bord sud-ouest du lac de Laach : *page 116*. Le *feldspath* récent non maclé (3) est grenu et englobe des cristaux dendriformes de *pyroxène* néogène (20), accompagnée de *magnétite*.

Fig. 9. — **Granite** enclavé dans le *basalte* de Saint-Anthème (Puy-de-Dôme) : *page 79*. Le mica fondu est remplacé par un agrégat en *buisson* de *spinelles* et d'*hypersthène* : l'*orthose* (3) fond d'une façon irrégulière, le *quartz* est intact.

Fig. 10. — **Granite** enclavé dans *andésite augitique*. Ettringen Bellenberg : *page 114*. Comme pour la fig. 6.

Fig. 11. — **Granite** enclavé dans *basalte* du Breitenberg (Silésie) : *page 124*. Les éléments anciens : *quartz* (1), *orthose* (3), *oligoclase* (6), sont disloqués et cimentés par une pâte de feldspaths acides, rappelant celle des trachytes.

FIG. 12. — **Gneiss** enclavé dans l'*andésite augitique* de l'Ettringer Bellenberg, *page 113*, et montrant des phénomènes de recristallisation autour d'une grande plage de *feldspath* (6).

PLANCHE III

FIG. 1. — **Granite**, enclavé dans le *basalte* du Puy de Cordeloup (Puy-de-Dôme) : *page 76*. *Feldspath* en microlites palmés et variolitiques, associés à des cristallites de *biotite*.

FIG. 2. — **Granite** enclavé dans le *basalte* du Pétersberg (Siebengebirge) : *page 118*. *Feldspath* recristallisé (3) sous forme de grandes baguettes, souvent creuses, allongées suivant p^1 g^1 (001) (010) et associées à de l'*augite* (20) dans de la matière vitreuse.

FIG. 3. — **Leptynite grenatifère** de la *brèche basaltique* du rocher Saint-Michel (Haute-Loire) : *page 97* (*Nicols à 45°*). Les éléments anciens en voie de fusion sont : le *quartz* (1), le *feldspath* (6) et le *grenat almandin* (25). Celui-ci est parcouru par des fissures que remplissent du *spinelle* vert et de l'*hypersthène*. En 27, la transformation est totale.

FIG. 4. — **Granulite** enclavée dans le *basalte* des Orgues d'Espaly (Haute-Loire) : *page 101*. On voit un grand cristal d'orthose corrodé et séparé du *basalte* par une zone de verre dans laquelle se trouve un cristal de *feldspath triclinique* (6) autour duquel se forme du *feldspath* récent cristallitique.

FIG. 5. — Veinule de **leucite** (10), accompagnée de *feldspath triclinique*, d'*augite* (20) et de *biotite* dans un *basalte* de la Banne d'Ordenche (Mont-Dore) [enclave granitique résorbée?] : *page 73*.

FIG. 6. — **Granulite** enclavé dans le *basalte* de Fay-le-Froid (Haute-Loire) : *page 105*. Le *feldspath* est en voie de fusion et de recristallisation. Le *quartz* est en partie fondu et entouré d'*augite* récente, disséminée dans du verre.

FIG. 7. — **Norite quartzifère** enclavée dans l'*andésite augitique* de Niedermendig : *page 140*. Le *quartz* est en partie intact, le *feldspath* en voie de fusion et de recristallisation. L'*hypersthène* est partiellement remplacé par de l'augite qui s'oriente géométriquement sur lui, suivant la loi habituelle.

FIG. 8. — **Granulite** enclavée dans le *basalte* des Orgues d'Espaly (Haute-Loire) : *page 102*. Le *quartz* est intact. Le *feldspath*,

en partie fondu, a cristallisé sous forme de grandes plages à aspect fibreux, en partie entrecroisées et maclées.

Fig. 9. — **Granite** enclavé dans le *basalte* du Puy de Boueix (Puy-de-Dôme) : *page 72*. Zone de contact avec le *basalte*. L'enclave fondue et modifiée a recristallisé sous forme de grands microlites de feldspath triclinique dont les intervalles sont remplis par des microlites feldspathiques plus petits, associés à des paillettes de *biotite*.

Fig. 10. — **Granulite** enclavée dans le *basalte* du Puy d'Edde (Puy-de-Dôme) : *page 71*. La roche est en partie fondue et transformée en un verre à cassures perlitiques. Le *quartz* restant est entouré de microlites d'*augite*. L'*orthose* (3) recristallise sous forme de petits microlites rectangulaires.

Fig. 11. — **Enclave feldspathique** de l'*andésite augitique* d'Ettringen : *page 112*, montrant la fusion et la recristallisation en *cassettes* du *feldspath*. Il existe un peu d'augite (*Lumière naturelle*).

Fig. 12. — **Orthose** enclavée dans le *basalte* de Pardine (Puy-de-Dôme) : *page 68*. Cette figure montre la démolition rectangulaire du *feldspath* qui s'égrène en petits solides rectangulaires dans le verre, résultant de sa fusion partielle. En bas, le basalte est à peine endomorphisé.

PLANCHE IV

Fig. 1. — **Schiste à cordiérite** enclavé dans l'*andésite* du Bocksberg (Eifel) : *page 204*. *Cordiérite* (15) (avec inclusions vitreuses, englobée dans un fond feldspathique néogène, renfermant de petits cristaux d'*hypersthène*.

Fig. 2. — **Schiste à andalousite** enclavé dans l'*andésite* du Rengersfeld (Eifel) : *page 203*. Pseudomorphoses d'*andalousite* en *corindon* (4) et *spinellides* englobées dans du *feldspath triclinique* (7), de la *biotite* (19) et de l'*hypersthène* néogènes : les contours des feldspaths sont jalonnés par un peu de verre.

Fig. 3. — **Schiste à andalousite** enclavé dans le *trachyte* du Drachenfels (Siebengebirge) : *page 207*. *Andalousite* (41) cristallitique et *cordiérite* (15), moulées par du *feldspath* néogène et accompagnées de *biotite*, surtout abondante au contact avec le trachyte.

Fig. 4. — **Gneiss à cordiérite** enclavé dans le *trachyte* du Capucin (Mont-Dore) : *page 180*. Plaque taillée dans une partie de l'enclave riche en *cordiérite* (15) et en aiguilles de *sillimanite*. Ces minéraux sont cimentés par de l'*orthose* récente. Les inclusions vitreuses avec *spinelle* sont abondantes.

Fig. 5. — **Schiste à cordiérite et andalousite** enclavé dans l'*andésite* du Rengersfeld : *page 204*. *Sillimanite* (5), *cordiérite* (15) piquetée de produits micacés secondaires, accompagnées de *feldspath triclinique* ancien (6). La *biotite* (19) et les *spinellides* (27) sont néogènes.

Fig. 6. — **Schiste à andalousite** enclavé dans l'*andésite* du Rengersfeld : *page 203*. Même légende que pour la fig. 2. Dans les pseudomorphoses d'*andalousite* il existe un peu de *sillimanites*.

Fig. 7. — **Schiste à andalousite** enclavé dans le *trachyte* de Margareth-Kreuz (Siebengebirge) : *page 207*. Même légende que pour la fig. 3. A droite, en haut, il subsiste un peu de *quartz* (1) ; le mica (19) englobe quelques aiguilles de *sillimanite*.

Fig. 8. — **Granulite à cordiérite et andalousite** enclavée dans le *trachyte* de Pailloux (Mont-Dore) : *page 178*. *Cordiérite* (15) *andalousite* [les deux plages *déchiquetées* colorées en blanc ont été, par erreur du dessinateur, numérotées 15], aiguilles de *sillimanite*, *orthose* (3), *oligoclase* (6), *quartz* (1); les minéraux anciens sont entourés par des feldspaths recristallisés.

Fig. 9. — **Enclave feldspathique** modifiée de l'*andésite* du Rengersfeld : *page 372*. *Oligoclase* (6), *biotite* et *spinellides*. Le feldspath présente des corrosions rectangulaires, bien qu'il soit récent.

Fig. 10. — **Schiste à andalousite et sillimanite** enclavé dans l'andésite du Rengersfeld : *page 203*. Groupement à axes parallèles d'*andalousite* et de *sillimanite*, entouré par de l'*oligoclase* (5) renfermant des houppes de *sillimanite* : il existe en outre un peu de *biotite* (19) et de *spinelle*.

Fig. 11. — **Gneiss à cordiérite et corindon**, etc., enclavé dans le *trachyte* du Capucin : *page 180*. *Cordiérite* (15), *corindon* (44), *sillimanite* en aiguilles, dans un fond d'*orthose* néogène.

Fig. 12. — **Granulite** enclavée dans le *trachyte* de Menet

(Cantal) : *page 197*. Dans cette granulite, il reste du *quartz* (1) et de l'*orthose* (3) intacts, ainsi qu'un peu de *biotite*. On observe, en outre, de larges *sphérolites feldspathiques* (3') néogènes.

PLANCHE V

Fig. 1. — **Granite** enclavé dans le *trachyte* du Capucin (Mont-Dore) : *page 185*. Les éléments anciens sont réduits à des fragments d'*oligoclase* (6) et d'*orthose* (3) englobés dans un magma d'*orthose* récente et d'*hypersthène* : ce dernier minéral, accompagné de *magnétite*, se produit aux dépens de la biotite (19).

Fig. 2. — **Orthose de pegmatite**, enclavée dans le *trachyte* de Menet (Cantal) : *p. 195*. En A, un fragment de ce feldspath est presque éteint pour montrer à sa partie supérieure des dentelures de corrosion remplies par de l'*orthose* sodique récente. En A', le même cristal est représenté dans sa position d'éclairement maximum, le feldspath récent au contraire est éteint. En B, une plage d'orthose ancienne est traversée d'un filonnet d'*orthose* accompagnée de microlites pyroxéniques récents.

Fig. 3. — **Gneiss à cordiérite** enclavé dans le *trachyte* du Capucin : *page 184*. Ce dessin représente une préparation taillée dans la partie presque entièrement résorbée d'un fragment de gneiss. Il ne subsiste plus, en fait de minéraux anciens, que de la cordiérite (15) englobant des aiguilles de *sillimanite* (*s*) et servant d'ossature à des agrégats de minéraux récents : *spinelle*, *orthose*, à droite en haut (3), et *tridymite* (à gauche en bas). Ces deux minéraux ont la même forme; ce sont des sections de lamelles aplaties : ils se distinguent par leur différence de biréfringence et de réfringence.

Fig. 4. — **Sanidinite** du *trachyte* de Menet : *page 363*. Roche grenue formée de *sanidine* et d'*anorthose* (3) avec beaucoup de *zircon* (*z*) et de la *magnétite*.

Fig. 5. — **Gneiss** enclavé dans le *trachyte* de Menet : *pages 198 et 366*. On a choisi à dessein une plage dépourvue de quartz afin de montrer l'analogie que présentent ces roches anciennes en voie de transformation avec les sanidinites modifiées du même gisement (fig. 9 et 10). Les éléments anciens sont de l'*oligoclase* (6) et de la *biotite* (19). Ce dernier minéral se

transforme en *augite* et *magnétite* (à opposer à la transformation en *hypersthène* du Rocher du Capucin, fig. 1). Ces produits anciens sont entourés d'*orthose* récente, s'orientant parfois sur les fragments du gneiss : ce feldspath néogène est associé à du *pyroxène* (20) et à de la *magnétite*.

FIG. 6. — **Orthose** d'une *sanidinite* de Menet : *page 366* (*Lumière naturelle*). Ce feldspath se démolit en trémies qui sont remplies par de l'orthose plus récente.

FIG. 7. — **Sanidinite** du roc de Cuzeau (Mont-Dore), formée par *sublimation* autour d'un fragment de *trachyte* englobé par un *trachyte* plus récent : *pages 250 et 359*. Roche holocristalline constituée en grande partie par de l'*orthose* (3) et de l'*anorthose* (3ª), parfois groupées ensemble : ces feldspaths sont associés à du *pyroxène* et de la *magnétite*. Ces grands cristaux sont entourés par des cristaux plus petits du même minéral.

FIG. 8. — **Sanidinite** du *trachyte* de Monac (Haute-Loire) : *page 369*. Cette préparation a été taillée au contact de la sanidinite et du trachyte : elle est destinée à montrer comment ce dernier cristallise largement dans les cavités de l'enclave, en grande partie formée par de l'*anorthose* (3ª). Les microlites sont constitués par de l'*orthose*.

FIG. 9 et 10. — **Sanidinites** du *trachyte* de Menet : *page 366*. Ces préparations représentent des sanidinites formées d'*orthose* (3), d'*anorthose* (3ª), de *pyroxène* (20), de *zircon* (*z*), de *magnétite* : la roche est profondément corrodée et en voie de recristallisation. Ces transformations sont identiques à celles des gneiss (fig. 5). Dans la fig. 9, à droite en haut, on voit le contact avec le trachyte.

FIG. 11. — **Sanidinite** du *trachyte* de Menet : *page 362*. La roche est formée d'*anorthose* (3ª) et d'*orthose* (sans numéro), d'*augite* (20), de *zircon* (*z*) et de *biotite* en voie d'altération.

FIG. 12. — **Sanidinite** du *trachyte* de Rengersfeld : *page 372*. *Magnétite*, *zircon* (*z*) et *anorthose* (3ª) offrant les mêmes phénomènes de corrosion et de recristallisation que les feldspaths des sanidinites des fig. 9 et 10.

PLANCHE VI

FIG. 1. — **Sanidinite à noséane et scapolite** du lac de Laach : *page 399*. *Noséane* (18) avec inclusions ferrugineuses, *sanidine*

(3) en cristaux simples ou maclés suivant la loi de Carlsbad, *scapolite* (16), *zircon* (*z*).

Fig. 2. — **Sanidinite à noséane** du lac de Laach : *page 399*. *Zircon* (*z*), *sanidine* (3), *noséane* (18). Il existe, en outre, un peu de *magnétite* et de la *calcite secondaire.*

Fig. 3. — **Ségrégation** de la *phonolite* de Hohenkrähen (Höhgau) : *page 432. Apatite* (13), *augite* (20), *biotite* (19) : le fond de la roche est formé par un minéral dodécaédrique (*noséane* ou *sodalite*), transformé en *mésotype*. Cette enclave était séparée de la phonolite par une mince zone de microlites d'augite verte.

Fig. 4. — **Phonolite** riche en grands cristaux de Hohentwiel (Höhgau) : *page 430. Apatite* (13), *noséane* ou *sodalite* (40), *orthose* (3), *sphène* (14). Dans la pâte de la roche, il existe en outre des microlites d'augite. Cette plaque est dessinée en lumière naturelle; on la comparera avec la fig. 8 pour se rendre compte des phénomènes de zéolitisation qui atteignent aussi bien la phonolite que ses enclaves.

Fig. 5. — **Sanidinite basique** du lac de Laach : *page 400*. *Augite* (20), *biotite* (19), *amphibole* (21), *noséane* (18), *apatite* en longues aiguilles; tous ces éléments sont englobés par de l'*orthose*. Il existait par places dans cette enclave une petite quantité d'*olivine* qui ne se rencontre pas dans la partie dessinée.

Fig. 6. — **Sanidinite** du lac de Laach : *page 399*. *Biotite* (19), un peu de *zircon* (sans numéro), *noséane* (18), *sanidine* (3).

Fig. 7. — **Ségrégation** de la *phonolite* de Hohentwiel : *page 432*. *Apatite* (13), *sphène* (14), *augite* (20), englobés par un minéral dodécaédrique (*noséane* ou *sodalite*), transformé en *mésotype*.

Fig. 8. — **Phonolite** de Hohentwiel. Même figure que 4, mais vue en lumière polarisée pour montrer la transformation en mésotype des éléments blancs de la roche.

Fig. 9. — **Sanidinite** du lac de Laach : *page 400*. *Augite, biotite* (19), *noséane* (20), *sphène* (14), englobés dans la *sanidine* (3). *Nicols à 450*.

Fig. 10. — **Sanidinite à noséane** du lac de Laach : *page 399*. La *noséane* (18) en petits cristaux globuleux est en grande partie englobée dans la *sanidine* (3).

Fig. 11. — **Sanidinite à noséane** du lac de Laach : *page 399*. Même légende que pour la figure 10, la *noséane* est en partie

postérieure à la *sanidine*. Il existe en outre un peu de *pyroxène*.

Fig. 12. — **Syénite néphélinique** de la *phonolite* de Hohentwiel (Höhgau) ; *page 431*. *Œgyrine* (20), *sanidine* (3) et *noséane* (ou *sodalite*) (40) entièrement zéolitisée.

PLANCHE VII

Fig. 1. — **Ségrégation à haüyne** (Ittneritfels) du *leucitophyre* d'Oberbergen (Kaiserstuhl) : *page 445*. (*Lumière naturelle.*) *Haüyne* (ittnérite) (18), *apatite* (13), *pyroxène* (20), *biotite* (19), *grenat mélanite* (25) : il existe un peu de *pérowskite* qui n'a pas été distinguée du grenat comme coloration.

Fig. 2. — **Cristal d'orthose** (3) de la périphérie d'une *syénite néphélinique* enclavée dans la *phonolite* du Pertuis (Haute-Loire) : *page 425*. Le feldspath de la phonolite vient se grouper sur l'*orthose* ancienne; il est accompagné de *sodalite* (40), de *sphène* (14) et de *pyroxène* (20) en cristaux plus grands que ceux de la phonolite.

Fig. 3. — **Syénite néphélinique**, contact avec la *phonolite* de Brocq (Cantal) : *page 424*. L'enclave est formée de sodalite (40), d'*orthose* (3) avec du *zircon* (2). A son contact, le feldspath de la phonolite cristallise sous forme de grands microlites, entourés par de la *calcite secondaire* (49).

Fig. 4. — **Syénite néphélinique à sodalite** des *tufs* de Brocq : *page 423*. *Orthose* et *anorthose* (3), *biotite* (19). L'intervalle des cristaux de feldspath est rempli par de la *sodalite* (40) et de la *néphéline*, transformées en produits colloïdes.

Fig. 5. — **Syénite néphélinique** grenue de la *phonolite* de Gennersbohl (Höhgau) : *page 432*. *Noséane ou sodalite* (40), *sphène* (14), *pyroxène* (20), *orthose* (3).

Fig. 6. — **Syénite néphélinique** du *leucitophyre* d'Oberbergen (Kaiserstuhl) : *page 443*. *Grenat* (23), *pyroxène* (20), *haüyne*, englobés dans de grandes plages d'*orthose*. L'enclave est traversée par un filonnet microlitique, riche en *augite*.

Fig. 7. — **Syénite néphélinique** de la *phonolite* du Pertuis (Haute-Loire) : *page 424*. *Pyroxène*, *orthose* (3), *sodalite* (40), avec un peu de *néphéline*.

Fig. 8. — **Syénite à sodalite** des tufs de Brocq : *page 424*. *Zircon* (*z*), *biotite* (19), *orthose* et *anorthose* (3), *sodalite* (40).

Il existe un peu de ***pyrrhite*** (*p.*), qui par erreur du graveur a été teintée comme le zircon : elle devrait être éteinte.

FIG. 9. — **Syénite à sodalite** aplitique de la ***phonolite*** de Gennersbohl : ***page*** *432*. Même légende que pour la fig. 5.

FIG. 10. — **Syénite néphélinique** du ***leucitophyre*** d'Oberbergen : ***page*** *443*. Même légende que pour la fig. 6 : à droite, le feldspath est moulé par de la ***haüyne*** zéolitisée.

FIG. 11. — **Syénite néphélinique** de la ***phonolite*** du Pertuis : ***page*** *420*. Même légende que pour la fig. 7.

FIG. 12. — **Syénite à sodalite** des tufs de Brocq : ***page*** *423*. Même légende que pour la fig. 8. Le feldspath est de l'***orthose***.

PLANCHE VIII

FIG. 1. — **Norite** enclavée dans le ***basalte*** du Puy de Plantat (Puy-de-Dôme) : ***page*** *132*. ***Quartz*** (1), ***oligoclase*** (6), ***hypersthène*** (22) : ce dernier minéral se transforme à sa périphérie en microlites d'augite, accompagnés de magnétite.

FIG. 2. — **Nodule à olivine** fondu et recristallisé, du basalte du Puy de Cordeloup (Puy-de-Dôme) : ***page*** *501*. ***Olivine*** (23), ***augite*** (20), moules formés par de la ***magnétite*** et de l'***augite*** recristallisées ; l'enclave est envahie par du ***feldspath triclinique*** en microlites.

FIG. 3. — **Nodule à hornblende** du ***basalte*** de Montaudou (Puy-de-Dôme) : ***page*** *479*. Pyroxène (20), [par places, faculé de hornblende (21)] en voie de fusion et de recristallisation sous forme de baguettes d'augite, associées à des lamelles ferrugineuses.

FIG. 4. — **Nodule à olivine** du basalte de Montaudou : ***page*** *500*. L'***olivine*** (23) en voie de fusion est le seul minéral ancien. Le ***pyroxène*** néogène (20) englobe des grains d'***olivine*** recristallisée il : existe en outre de l'***amphibole*** (21) et de la picotite en grains opaques. Dans d'autres parties de cette même enclave, la ***picotite*** est extrêmement abondante, sous forme de petits octaèdres inclus dans les minéraux néogènes.

FIG. 5. — **Norite** englobée par un fragment de ***basalte*** des tufs du Coupet (Haute-Loire) : ***page*** *136*. ***Bytownite*** (8), ***biotite*** (19), ***hypersthène*** (22). Ce minéral, à son contact avec le feldspath, fond et se transforme en microlites d'***augite*** et d'***olivine*** : ces derniers sont épigénisés en produits ferrugineux : il

existe un peu de feldspath néogène qui n'a pu être représenté distinctement.

FIG. 6. — **Nodule à olivine** du basalte de Montaudou : *page 500*. *olivine* (23), *enstatite* (22) se transformant en squelettes cristallitiques d'*augite*, enveloppés de verre et accompagnés de lamelles ferrugineuses qui ne sont pas visibles en lumière polarisée.

FIG. 7. — **Nodule à olivine** du *basalte* de Langeac (Haute-Loire) : *page 504*. Grande plage de *spinelle* (27) autour de laquelle s'observent du *péridot* (23), du *pyroxène* (20) et *du feldspath triclinique* microlitique. Le spinelle a été en partie dissous et a recristallisé, sous forme de petits octaèdres, inclus dans les minéraux néogènes : ils n'ont pas été représentés à cause de leur trop petite taille. (*Nicols à 450*).

FIG. 8. — **Nodule à olivine** du *basalte* de Montaudou : *page 501*. Même légende que pour la fig. 2. L'*olivine* seule est ancienne, il existe dans le verre un peu de *calcite* secondaire.

FIG. 9. — **Norite** enclavée dans le *basalte* du Rocher Saint-Michel (Haute-Loire) : *page 135*. Même légende que pour la figure 5. L'augite néogène forme des squelettes cristallitiques continus, englobant de l'*olivine* (23) et de la magnétite récente.

FIG. 10. — **Diorite** du *basalte* de Ferraria (île S. Miguel, Açores) : *page 475* *Labrador* (8) et *hornblende* (21). Ce minéral se transforme, comme dans les échantillons, représentés par les fig. précédentes, en agrégats cristallitiques d'*augite* et de produits ferrugineux. En bas, l'enclave est envahie par le *basalte* microlitique.

FIG. 11. — **Nodule à olivine** des *tufs basaltiques* de Tareyre (Haute-Loire) : *page 507*. *Anorthite* (8) se développant dans un nodule en voie de fusion, autour du spinelle (27) qui est en partie détruit et en partie recristallisé sous forme d'agrégats de petits octaèdres. Le pyroxène (20) est corrodé par la fusion.

FIG. 12. — **Nodule à horblende** du *basalte* de Montaudou : *page 479*. (*Lumière naturelle.*) *hornblende* (21) en voie de fusion et de transformation en *augite* et produits ferrugineux.

TABLEAU PAR ORDRE DE RÉCEPTION

DES MEMBRES RÉSIDANTS

DE L'ACADÉMIE DE MACON

Au 31 août 1893

1852. MM. Pellorce (Charles), ✻ ancien conseiller de préfecture, ancien maire de Mâcon.
1864. Lacroix (Francisque), pharmacien-chimiste, Mâcon.
1868. Arcelin (Adrien), ancien élève de l'Ecole des Chartes, Saint-Sorlin.
1869. Martin (Paul), négociant, Mâcon.
1870. Réty (Hippolyte), Mâcon.
1870. Putois, ancien magistrat, Mâcon.
1873. De Fréminville (Léon), château d'Escolles, par Saint-Sorlin (S.-et-L.).
1878. Biot (Camille), docteur en médecine, Mâcon.
1879. Deton (Charles), rédacteur en chef du *Journal de Saône-et-Loire*.
1882. Jeandet (Abel), ancien bibliothécaire-archiviste de la ville de Mâcon, Verdun-sur-le-Doubs.
1882. Durand (Aug.), avocat, Mâcon.
1885. Canet (l'abbé), aumônier de la Visitation, chanoine honoraire, Mâcon.
1885. Bon Lombard de Buffières, château de Champgrenon, par Charnay-lès-Mâcon.
1887. De Benoist, à Mâcon.
1889. Houitte de Lachesnais, château de La Salle, par Vérizet.
1890. Mangenot, conservateur des forêts à Mâcon.
1890. Lex, Bibliothécaire-archiviste de la ville de Mâcon, Mâcon.
1890. Siraud, chef de division à la préfecture, Mâcon.
1890. Reyssié, avocat, Mâcon.

1890. JACQUIER, avocat, propriétaire à Nancelles.
1891. BOUCHARD, professeur de rhétorique à Mâcon.
1893. MARITAIN, avocat, Mâcon.
1893. BERNARD, chef du laboratoire agronomique de Cluny.

COMPOSITION DU BUREAU

POUR L'ANNÉE 1891-1892.

Président............................	MM. Dr AUBERT.
Secrétaire perpétuel...................	Aug. DURAND.
Secrétaire adjoint..............	Dr BIOT.
Trésorier............................	LACROIX.
Bibliothécaire...................... ...	DE BENOIST.
Conservateur........................	LEX.

COMITÉ PERMANENT D'AGRICULTURE

Membres de droit { Le Président de l'Académie.
Le Secrétaire perpétuel. }

MEMBRES DU BUREAU

AU 31 AOUT 1891.

MM. Charles PELLORCE, à Mâcon; ARCELIN, propriétaire à Saint-Sorlin; DE BENOIST, propriétaire à Grevilly; Francisque LACROIX, à Mâcon; DE FRÉMINVILLE, propriétaire à Escolles (S.-et-L.); Paul MARTIN, négociant à Mâcon; Bon LOMBARD DE BUFFIÈRES, château de Champgrenon (Charnay-lès-Mâcon); DESVIGNES, à La Chapelle-de-Guinchay; Mis DE BARBENTANE, château de Saint-Jean, par Mâcon; Paul DE CLAVIÈRES, à Saint-Sorlin; Jules PROTAT, à Mâcon; Cte DE MURARD, château de Bresse-sur-Grosne; Emile ANDRÉ, château de Sennecé-lès-Mâcon; Dr François GARNIER, à Saint-Sorlin; Francis DE BORDE, château de Borde (Château); Anatole DE LA VERNETTE, château de Burnand; LAVENIR, à Mâcon.

MEMBRES ASSOCIÉS CORRESPONDANTS

1882.

MM.

Henri Piot, Paris.
Fortoul-Villars, Paris.
Dr Jambon, Mâcon.
André Pellorce, Mâcon.

1884.

Louis Goin, Anzy-le-Duc.
Comte de Murard, Bresse-sur-Grosne.

1885.

Albert Dupré, notaire, Epinac.
Combaud, pharmacien, Mâcon.
Chaussier, propriétaire, Mâcon.
Vautrain, St-André-le-Désert.
Martin, conservateur du Musée, Tournus.
Schneider, Le Creusot.
Cheuzeville, Beaubery.
Deau, négociant, Mâcon.

1886.

MM.

Authelain, architecte, Mâcon.
Courtois, Le Creusot.
Bonnet, agent voyer, Chagny.

1887.

Gilbert Laffay, Mâcon.
Limard, pharmacien, Saint-Laurent (Ain).
Griveaud, ancien notaire, Joncy.
Révérend du Mesnil, ancien magistrat, Oyé.

1889.

Chaumonot, percepteur de Sancé, Mâcon.
F. Dupasquier, Mâcon.

MEMBRES CORRESPONDANTS

1850 à 1859.

MM.

Le Bon Girardot, Nantes.
Ch. Manby, Londres.
Rossignol, Dijon.
Dr Roux, Marseille.
Dupont, Marcigny.
Fauré, Bordeaux.
Morin-Pons, Lyon.
Roux, Lyon.
du Vivier de Streel, Liège.
Emile Chasles, Paris.
Campaux, Paris.
Abord, Autun.
Gustave Guichard, Cluny.
Léonce Lenormant.
Jacquemin, Arles.
Bellin, Lyon.
Saunier, Paris.
Jules Renouvier, Montpellier.
Dr Loydreau de Neuilly, Neuilly, par Arnay-le-Duc.
Loustonneau, Péronne.
Dr Chassinat, Hyères.

1860-1861.

Aubel.
Roumeguère, Toulouse.
Dr Hervier, Rive-de-Gier.
Edmond Chevrier, Bourg.

1861-62.

MM.

Duponnois, Châlons-sur-Marne.
Liron d'Ayrolles, Paris.
Mis de Beausset-Roquefort, Lyon.
Alexis Rousset, Lyon.
Desvignes, La Chapelle-de-Guinchay.
Dr Ebrard, Bourg (Ain).
Goyard, Bourbon-Lancy.
Carrelet de Loisy, Pierre.
Grignant, Paris.
Maurice Simonnet, Trévoux.

1864-66.

Chabert, Paris.
J. Collin, Paris.
Chevalier, Paris.
Chappe, Versailles.
Jules Canonge, Nimes.
Dr Maurin, Marseille.
Labbé, Le Havre.

1866-68.

Malinowski, Alais.
Jules Chantepie, Paris.
Liégeard, Paris.
Richard Cortambert, Paris.
Nadaud de Buffon, Rennes
Bourne, Lyon.
Pruner-Bey, Paris.
Frot, Lorient.
L'abbé Tillon, Paris.

MM.

Auguste Bernard, Paris.
Roulleaux, Bourg.
Cialdini, Civita-Vecchia.
Bulliot, Autun.

1869.

Millien, Paris.
Parrot, Angers.
Fayot, Besançon.
Falsan, Lyon.
Roux, Cluny.
Lavenir, Mâcon.
Ed. Piette, Craonne.
Chervin, Paris.
Penjon.
Renaud, aide-naturaliste au Museum de Paris.
Sagot, Melun.

1870-71.

Louis Guittard, Lyon.
Albain de Montvaillant.
Alfred de Montvaillant.
Berthaud, Lyon.

1872-73.

Donnadieu, Lyon.
Dabry de Thiersant, Lyon.
Curé, Provins.
Gonnard, Lyon.
Gabriel Dumay, Dijon.

1874-75.

Edouard Préveraud, Marcigny.
Charles Tardy, Bourg (Ain).
Aimé Giron, Le Puy-en-Velay.
J. Gauthier, Saint-Ythaire.
Raoul Quarré de Verneuil.

MM.

1875-76.

Emile Guimet.
C.-A.-L. Letellier, Caen.
Dr Missol, Villefranche.

1876-77.

Bruel, Paris.

1878-79.

Ronjon, Clermont-Ferrand.
Gloria, Beaune.
Marquis du Luc.
François Morand, Boulogne-sur-Mer.

1879-80.

L'abbé Sanvert, curé de Savigny-sur-Grosne.
Travelet, Dijon.
Locard, Lyon.
Riballier, Saint-Sorlin.
Michel Lévy, Paris.
Dr Lortet, Lyon.
Commandant Mayette, Mâcon.

1881-82.

Comte de Jotemps, Lyon.
Van der Broeck, Bruxelles.
Delafond, Chalon-sur-Saône.

1882-83.

Moreau père, la Fère-en-Tardenois.
Alfred Lacroix, Paris.
Louis Rérolles, Grenoble.

1883-84.

MM.

1884-85.

F. FERTIAULT, Paris.
CAMUSET, Le Puy.
LACOMME.
GIROUD, architecte, rue Saint-Joseph, 60, Lyon.
Jules LEGOUX, ancien magistrat, avocat à Paris.
L'abbé DORY, curé de Notre-Dame, Autun.
Le chanoine CONDAMIN, Lyon.

1887.

Le commandant BERLIÈRE, Saint-Gengoux-le-National.
L'abbé MARCHAND, curé de Varambon (Ain).

1888.

DEJARDIN, Nîmes (Gard).
Paul BESSON, avocat au Conseil d'État et à la Cour de Cassation, Paris.

1890.

MM.

Albert LONDE, Paris.
FUSTER, Paris.
Henri VILLARD, Langres.
PIAT, Paris.

1891.

Lucien PATÉ, Paris.
DE POMAYROLS.
Alph. BERNARD, Paris.
SALNEUVE, Paris.
MGR PERRAUD, évêque d'Autun, membre de l'Académie française.
Jules SIMON, sénateur, membre de l'Académie française.
A. VILLARS, ingénieur civil, Amiens.

1892.

J. DE CONTENSON. Mâcon.
F. COPPÉE, membre de l'Académie française.
F. BOUILLIER, membre de l'Institut.
E. PICOT, membre de l'Institut
Dr LEBICHE. Nice.

SOCIÉTÉS CORRESPONDANTES

Ain. — Société d'émulation de l'Ain, à Bourg.

Société littéraire, historique et archéologique de l'Ain, à Bourg.

Aisne. — Société académique de Laon.

Société académique de Saint-Quentin.

Société des sciences, arts, belles-lettres et d'agriculture de l'Aisne, à Laon.

Comice agricole de l'arrondissement de Saint-Quentin.

Société historique et archéologique de Soissons.

Société historique et archéologique de Château-Thierry.

Allier. — Société d'émulation de l'Allier, à Moulins.

Société d'agriculture de l'Allier, à Moulins

Alpes-Maritimes. — Société des lettres, sciences et arts des Alpes-Maritimes.

Société niçoise des sciences naturelles et historiques.

Aube. — Société des sciences, arts et belles-lettres de l'Aube, à Troyes.

Basses-Alpes. — Société littéraire et scientifique des Basses-Alpes.

Bouches-du-Rhône. — Académie de Marseille.

La Bibliothèque de la ville de Marseille.

Société de statistique de Marseille.

Calvados. — Académie des sciences, arts et belles-lettres de Caen,

Société linéenne de Normandie, à Caen.

Charente-Inférieure. — Société historique et scientifique de Saint-Jean-d'Angély.

Société d'agriculture, belles-lettres, sciences et arts de Rochefort.

Société des archives historiques de la Saintonge et de l'Aunis, Saintes.

Cher. — Société d'agriculture du Cher, à Bourges.

Côte-d'Or. — Commission des antiquités de la Côte-d'Or, à Dijon.

Académie de Dijon.

Société des sciences historiques et naturelles de Semur.

Société archéologique de Beaune.

Comité d'agriculture de Beaune.

Archives du département de la Côte-d'Or.

Deux-Sèvres. — Société centrale d'agriculture, à Niort.

Doubs. — Société académique de Besançon.

Société de médecine de Besançon.

Société d'émulation de Montbéliard.

Drôme. — Société départementale d'agriculture, à Valence.

Bulletin d'archéologie religieuse et d'histoire ecclésiastique du diocèse de Valence.

Eure. — Société libre d'agriculture, des sciences et arts de l'Eure, à Evreux.

Idem, section de Bernay.

Finistère. — Société académique de Brest.

Gard. — Académie du Gard, à Nîmes.

Société d'agriculture du Gard, à Nimes.

Société scientifique et littéraire d'Alais, à Nîmes.

Gironde. — Académie des sciences, belles-lettres et arts de Bordeaux.

Société de Médecine de Bordeaux.

Hautes-Alpes. — Société d'étude des Hautes-Alpes, à Gap.

Haute-Garonne. — Société archéologique du Midi de la France, à Toulouse.

Académie des sciences, inscriptions et belles-lettres de Toulouse.

Académie des Jeux floraux, à Toulouse.

Société d'histoire naturelle de Toulouse.

Société académique hispano-portugaise, Toulouse.

Haute-Marne. — Société historique et archéologique de Langres.

Hautes-Pyrénées. — Société d'encouragement de Bagnères-de-Bigorre.

Haute-Saône. — Commission d'archéologie de la Haute-Saône, à Vesoul.

Société agronomique, industrielle et scientifique de Vesoul.

Haute-Vienne. — Société archéologique et historique du Limousin, à Limoges.

Hérault. — Société archéologique de Béziers.

Académie des sciences et lettres de Montpellier.

Ille-et-Vilaine. — Société départementale d'agriculture et d'industrie, à Rennes.

Indre. — Société d'agriculture de Châteauroux.

Indre-et-Loire. — Société d'agriculture, sciences et arts de Tours.

Isère. — Académie delphinale, à Grenoble.

Bulletin d'histoire ecclésiastique et d'archéologie religieuse des diocèses de Valence, Digne, Gap, Grenoble et Viviers.

Jura. — Société d'émulation du Jura.

Société d'agriculture, sciences et arts de Poligny.

Landes. — Société de Borda, à Dax.

Loir-et-Cher. — Société des sciences et lettres de Blois.

Loire. — Société d'agriculture, sciences et belles-lettres de la Loire, à Saint-Etienne.

La Diana, à Montbrison.

Loire-Inférieure. — Société académique de Nantes.

Loiret. — Société archéologique de l'Orléanais, à Orléans.

Société d'agriculture, sciences, belles-lettres et arts d'Orléans.

Lot. — Société des études du Lot, à Cahors.

Lozère. — Société d'agriculture de la Lozère, à Mende.

Maine-et-Loire. — Académie des sciences et belles-lettres, à Angers.

Manche. — Société académique de Cherbourg.

Société nationale des sciences naturelles de Cherbourg.

Marne. — Société d'agriculture, commerce et arts de la Marne, à Châlons-sur-Marne.

Académie de Reims.

Comice agricole de Châlons-sur-Marne.

Société des sciences et arts de Vitry-le-Français.

Société d'histoire et d'archéologie de Châlons-sur-Marne.

Meurthe. — Académie de Stanislas, à Nancy.

Meuse. — Société philomatique de Verdun.

Morbihan. — Société polymatique du Morbihan.

Nièvre. — Société nivernaise des lettres, sciences et arts, à Nevers.

Nord. — Société d'émulation de Cambrai.

Société d'agriculture de Lille.

Société d'agriculture, sciences et arts de Douai.

Société Dunkerquoise.

Société d'agriculture de Valenciennes.

Pas-de-Calais. — Société académique de Boulogne-sur-Mer.

Société d'agriculture de l'arrondissement de Saint-Pol.

Rhône. — Académie des sciences, arts et belles-lettres de Lyon.

Société littéraire de Lyon.

Muséum d'histoire naturelle de Lyon.

Saône-et-Loire. — Société éduenne, à Autun.

Société d'histoire naturelle, à Autun.

Société d'histoire et d'archéologie de Chalon-sur-Saône.

Société des sciences naturelles de Saône-et-Loire, à Chalon.

Archives de Saône-et-Loire.

Sarthe. — Société d'agriculture, sciences et arts de la Sarthe, Le Mans.

Société historique et archéologique du Maine, Le Mans.

Savoie. — Académie des sciences, lettres et arts de Savoie, à Chambéry.

Société florimontane, à Annecy.

Seine. — Société centrale d'agriculture de France, à Paris.

Société des agriculteurs de France, à Paris.

Société parisienne d'archéologie et d'histoire, à Paris.

Société de l'histoire de France, à Paris.

Société philotechnique, à Paris.

Société libre des beaux-arts, à Paris.

Société française de numismatique et d'archéologie, à Paris.

Société protectrice des animaux, à Paris.

Association française pour l'avancement des sciences, à Paris.

Société bibliographique, à Paris.

Société d'anthropologie, à Paris.

Seine-et-Marne. — Société d'agriculture, sciences et arts de Meaux.

Société d'archéologie, sciences, lettres et arts de Melun.

Seine-et-Oise. — Société des sciences morales, des lettres et des arts de Seine-et-Oise, à Versailles.

Société des sciences naturelles et médicales de Seine-et-Oise, à Versailles.

Seine-Inférieure. — Société havraise d'études diverses, au Havre.

Académie des sciences, belles-lettres et arts de Rouen.

Société centrale d'agriculture de la Seine-Inférieure, à Rouen.

Somme. — Société des antiquaires de Picardie, à Amiens.

Société linnéenne du Nord de la France, à Amiens.

Société d'émulation de la Somme, à Amiens.

Tarn. — Société scientifique et littéraire de Castres.

Var. — Société académique des sciences, arts et belles-lettres du Var, à Toulon.

Vaucluse. — Société d'agriculture et horticulture de Vaucluse, à Avignon.

Vendée. — Société d'émulation de la Vendée, à Roche-sur-Yon.

Vienne. — Société des antiquaires de l'Ouest, à Poitiers.

Yonne. — Société des sciences historiques et naturelles, à Auxerre.

Algérie. — Société d'agriculture d'Alger.

Alsace-Lorraine. — Société d'histoire naturelle de Colmar.

Belgique. — Société malacologique de Belgique, à Bruxelles.

Egypte. — Institut égyptien, au Caire.

Etats-Unis d'Amérique. — American academy of arts and sciences, Boston and Cambridge, Massachussets.

Smithsonion Institution, Washington United States Geological Survey, Washington.

Departement of agriculture, Washington.

Société historique de l'Etat de Kansas, à Topeca.

Italie. — Académie royale, Modène.

Norwège. — Université royale de Christiania.

Russie. — Société impériale des naturalistes de Moscou

Suisse. — Société des arts de Genève.



EXTRAITS

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

ANNÉE 1891-1892

SÉANCE DU 27 NOVEMBRE 1891

Présidence de M. Ch. PELLORCE, président.

Etaient présents : MM. Arcelin, Bouchard, abbé Canet, Durand, de Fréminville, Lacroix, Bon Lombard de Buffières, Mangenot, Pellorce, Putois et de Rosemont MM. Lex, de Lachesnais, Reyssié et Siraud se font excuser par écrit de ne pouvoir assister à la séance.

Le procès-verbal de la réunion du 30 juillet est lu et adopté, et les publications reçues pendant le mois sont déposées sur le bureau.

M. Albert de Moutet, demeurant à Chardonne-sous-Vevey (Suisse), adresse à l'Académie un volume intitulé : *Madame de Warens et le Pays de Vaud*.

M. l'abbé Canet offre à la Société un exemplaire d'un ouvrage qu'il vient de faire paraître : *La liberté de conscience*. M. Félix Reyssié fait également don d'un exemplaire de son travail, publié chez Hachette : *La jeunesse de Lamartine*.

Nos deux collègues sont vivement remerciés et félicités

M. Lex fait déposer sur le bureau, de la part de MM. Charmes et de Baye, des documents relatifs au congrès des Américanistes, qui se tiendra à Huelva, du 1er au 6 octobre 1892, à l'occasion du quatrième centenaire de la découverte de l'Amérique.

M. le Préfet de Saône-et-Loire adresse à la Société, pour sa bibliothèque, un exemplaire de l'*Inventaire sommaire des archives de Saône-et-Loire antérieures à 1790*, série E, supplément « Ville de Givry ».

M. Bourdon, substitut du Procureur général près la cour de

Dijon, offre également un opuscule : *Lamartine législateur sous la monarchie de Juillet*, qui a fait le sujet de son discours de rentrée pour l'année judiciaire 1891-1892. M. Rousselot prie l'Académie de vouloir bien accepter pour le musée de la ville de Mâcon dix minerais cuprifères provenant des mines de Chessy (Rhône).

La parole est donnée à M. Arcelin, qui fait connaître à la Société l'état des fouilles exécutées à Solutré. Notre collègue rappelle d'abord les résultats généraux acquis antérieurement à ses dernières recherches. Il avait été frappé avec M. l'abbé Ducrost de ce fait que la période solutréenne n'existait pas seule, et il avait constaté la dissemblance des foyers. Des traces de la période moustérienne, antérieure à la période solutréenne, et consistant notamment en os de rennes percés d'un trou, dits bâtons de commandement, des bois gravés, ne laissaient aucun doute à cet égard. Etait-ce un fait accidentel ? Il était utile de rechercher dans quel état se trouvaient les trois âges, solutréen, moustérien et magdalénien. Les constatations de cinq ou six zônes différentes superposées peuvent amener à conclure que les trois grandes périodes préhistoriques se rencontrent à Solutré.

Toutes les fouilles ont été faites sous les yeux de notre distingué collègue, qui a catalogué, au fur et à mesure de leur invention, 905 silex, 1453 fragments d'os de rennes et de chevaux, un squelette de blaireau dont l'âge est problématique, 2 galets, quelques fragments de porphyre et un oursin, soit au total 2374 pièces trouvées dans 85 mètres cubes de terre, en 26 journées de manœuvres. L'Académie félicite M. Arcelin de ses actives recherches, vote un supplément de 60 fr. pour les dépenses effectuées et prie notre collègue de faire un rapport complétant ses explications orales, lequel sera annexé au procès-verbal de la séance.

L'exposé de M. Arcelin donne lieu à un échange d'observations entre MM. de Rosemont, de Fréminville et lui, relativement à différentes questions de stratigraphie.

M. de Rosemont dépose un exemplaire de son récent ouvrage · *Suite d'un essai d'un commentaire scientifique de la Genèse* : ORIGINE DE L'HOMME.

M. Pellorce donne lecture d'un sonnet présenté par M. Putois, et écrit par M. Gonard, son petit-fils : *Les Hérons* (aquarelle).

M. le Bon Lombard de Bufflères remet à l'Académie, au nom de M. le comte de Montherot, un manuscrit de M. de Lamartine : *Epître familière*, *Réponse aux adieux de Walter Scott*. Des remerciements seront adressés à M. de Montherot pour sa généreuse offrande. M. Lacroix fait observer que des ouvrages de cette valeur doivent être enfermés soigneusement dans la bibliothèque de la Société à l'abri de toute investigation indiscrète.

M. Ch. Pellorce fait un rapport sommaire sur la candidature de M. Salneuve comme membre correspondant. M. Salneuve a

été pendant plus de vingt ans un des amis de notre grand poète ; il fait partie de la Société des œuvres de Lamartine dont le but est littéraire, élevé et désintéressé. M. Salneuve est nommé à l'unanimité membre correspondant.

M. le Président présente deux autres candidatures au même titre, celles de Mgr Perraud, évêque d'Autun, et de M. Jules Simon; elles sont votées par acclamation.

M. Villars, membre résidant, qui a quitté définitivement Mâcon, est maintenu de droit membre correspondant de la Société.

L'ordre du jour appelait le renouvellement du bureau ; l'Académie n'étant pas, aux termes du règlement, en nombre suffisant, l'élection est renvoyée au mois de décembre, et sur la proposition de MM. Lacroix et Lombard de Buffières, le vote par correspondance sera admis.

SÉANCE DU 31 DÉCEMBRE 1891

Présidence de M. Ch. PELLORCE, président.

Etaient présents : MM. de Benoist, Bouchard, abbé Canet, Deton, Durand, Lacroix, Lex, Mangenot, Martin, Pellorce, Putois, Reyssié et Siraud.

MM. Arcelin, Biot, Devienne, de Lachesnais et Lombard de Buffières se font excuser de ne pouvoir assister à la séance. Les publications reçues pendant le mois sont déposées sur le bureau.

M. le Secrétaire perpétuel donne lecture de lettres écrites par MM. Jules Simon, Salneuve et Mgr Perraud, remerciant l'Académie du titre de membre correspondant qui leur a été décerné à la dernière séance.

Il est également donné communication d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique annonçant l'ouverture de la seizième session des Sociétés des Beaux-Arts des départements et invitant à faire connaitre, avant le 1er mars, la liste des délégués qui désireraient assister à cette réunion. M. le Président désigne MM. Durand, Lacroix et Reyssié.

M. Siraud offre à la Société un exemplaire de l'*Annuaire de Saône-et-Loire* pour l'année 1892. Il explique les différentes modifications qu'il a apportées à ce nouveau recueil et reçoit les félicitations de l'Académie pour la bonne disposition de son ouvrage et les documents fort intéressants qui y sont contenus.

M. Lucien Villard, avocat à Langres, membre correspondant, a adressé à la Société un petit volume de poésies : *Sur la plage*. M. le Président fait l'éloge du talent de notre distingué collègue et lit

une de ses pièces dédiée à M. Auguste Durand : *Un regard en arrière*.

M. Lex rappelle que l'Académie, dans sa séance du 30 avril 1863, a décidé d'imprimer à ses frais un *Inventaire des fiefs du Mâconnais et du Charollais avec table généalogique des familles et de leurs blasons*, dont M. Ragut présentait le manuscrit à la Société. Le travail de M. Ragut n'a jamais vu le jour. M. Lex a repris à son compte ce projet de publication, en le modifiant toutefois et en le limitant à une analyse du *Papirus feodatariorum commitatus et baillivie Matisconensis* et à une table de l'inventaire de Peincedé. Ces deux documents sont conservés aux Archives du département de la Côte-d'Or.

Les fiches rédigées par M. Lex sont, pour ainsi dire, en état d'être livrées à l'imprimeur. La dépense ne serait pas très élevée, attendu que le volume compterait à peine douze feuilles in-8°.

L'Académie accepte la proposition de M. Lex et décide que son manuscrit sera imprimé dans le format et la justification de la *Collection de textes pour servir à l'étude et à l'enseignement de l'histoire*, dont un volume est placé sous ses yeux.

M. Lacroix reçoit au nom de M. Chamussy, directeur des mines de Romanèche, des ossements trouvés dans des sables myocènes; ils feront partie des collections du musée de la ville.

Il est ensuite procédé au vote pour l'élection du président pour l'année 1892. Le dépouillement du scrutin se décompose comme suit : M. Arcelin, 5 voix; M. Aubert, 11 voix; M. Lombard de Buffières, 2 voix. M. le Dr Aubert ayant réuni la majorité absolue des suffrages exprimés est proclamé président de l'Académie.

SÉANCE DU 28 JANVIER 1892

Présidence de M. Ch. PELLORCE, vice-président.

Etaient présents : MM. Bouchard, abbé Canet, Deton, Lacroix, Lex, Pellorce, Martin.

MM. Aubert, Jacquier, Lombard de Buffières, Reyssié, se font excuser par lettres.

Lecture et approbation du procès-verbal de la dernière séance.

M. Lacroix annonce la mort de M. de Rosemont. M. le Président exprime le regret de n'avoir pas été informé du décès de notre regretté collègue, et n'avoir pu, par suite, représenter la Compagnie aux funérailles.

Circulaire du vice-consul d'Espagne à Vichy, annonçant l'initiative par le gouvernement espagnol de la célébration du 4e cen-

tenaire de la découverte de l'Amérique et de Christophe Colomb. Cette grande manifestation sera l'occasion de deux Expositions : l'une *historique européenne*, l'autre *historique américaine*. L'Académie de Mâcon est invitée à coopérer à cette solennité. Les personnes habitant le département de Saône-et-Loire, décorées des Ordres espagnols, sont priées de vouloir bien communiquer au vice-consulat de Vichy la nomenclature des distinctions honorifiques dont elles sont titulaires.

M. Vingtrinier fait hommage d'une brochure ayant pour titre : *les Truites de la Bourne : leur passé, leur présent, leur avenir*.

La Société belfortaise d'émulation exprime le désir d'entrer en relations avec notre Compagnie, et d'échanger ses publications contre les nôtres. Ce vœu est adopté à l'unanimité, et le secrétaire perpétuel est chargé d'en assurer la transmission.

M. Lex dépose sur le bureau un exemplaire du tirage à part d'une *Notice historique sur Lugny et ses hameaux*, qu'il vient de publier dans le dernier annuaire de Saône-et-Loire. M. le Président remercie notre collègue et fait l'éloge de ce travail d'érudition.

Approbation du texte nouveau proposé pour l'impression de l'*Inventaire des fiefs du Mâconnais et du Charollais*. Cet ouvrage comportera 11 feuilles à 58 fr. 50 chacun pour 400 exemplaires. Son impression est votée et le tirage est fixé à 400 exemplaires.

Lecture est donnée d'une lettre de M. de Contenson, sollicitant le titre de membre correspondant. M. l'abbé Canet est chargé de faire, selon le règlement, un rapport sur cette candidature.

SÉANCE DU 25 FÉVRIER 1892

Présidence de M. le Dr AUBERT, président.

Etaient présents : MM. Aubert, Biot, Bouchard, Canet, Deton, Durand, Lex, Mangenot, Martin, Pellorce et Reyssié.

MM. Devienne, Bon Lombard de Bufflères et Réty se font excuser par écrit de ne pouvoir assister à la séance.

M. Ch. Pellorce, président sortant, remercie la Société du bienveillant concours qu'elle lui a prêté pendant l'année académique qui vient de s'écouler ; il la félicite de lui avoir choisi pour sucesseur M. le Dr Aubert, président du comité des fêtes de Lamartine. C'est un hommage mérité rendu au rôle qu'il a joué pendant cette brillante période qui ne s'est point effacée de nos souvenirs.

M. le Dr Aubert, prenant place au fauteuil de la présidence, remercie à son tour de l'honneur qui lui a été fait. Il promet à

ses collègues tout le dévouement et tout le temps que ses fonctions, souvent trop absorbantes, lui permettront de consacrer à la bonne direction de la Société et il reportera au comité des fêtes l'hommage rendu à la personne de son Président.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté; les publications reçues pendant le mois écoulé sont déposées sur le bureau. La parole est donnée à M. Deton, qui propose à l'Académie de faire une anthologie de Saône-et-Loire; elle comprendrait toutes les personnalités qui se sont distinguées dans les lettres, les sciences et les arts. Ce serait pour ainsi dire le *dictionnaire* de notre Académie, auquel les différents membres pourraient collaborer. Cet ouvrage, qui paraîtrait par publications successives, pourrait trouver sa place dans les écoles et apprendre aux jeunes générations à connaître et à aimer des compatriotes qui ont illustré leur pays.

La proposition de M. Deton est très favorablement accueillie en principe; notre collègue est invité à présenter dès qu'il le pourra un projet plus complet.

M. l'abbé Canet fait son rapport sur la candidature de M. de Contenson en qualité de membre correspondant. Il donne lecture de quelques fables, de plusieurs passages d'une traduction en vers des odes d'Horace, et conclut à l'admission. L'Académie, *à l'unanimité* des membres présents, admet les conclusions de l'honorable rapporteur et M. de Contenson est proclamé membre correspondant de l'Académie.

M. Durand donne lecture d'un chapitre de son travail sur l'Académie de Mâcon, *M. Benon des Chânes*. Il rappelle les nombreux travaux de météorologie et de statistique dont s'est occupé, en collaboration de M. Mathieu, notre illustre compatriote, M. Benon, qui fût un des fondateurs de l'Académie, en même temps qu'un de ses membres les plus actifs et les plus dévoués. Cette communication est très favorablement accueillie.

M. Lex présente à l'Académie deux types d'encensoirs anciens, l'un datant de la fin du XIV[e] siècle, appartenant à la fabrique d'Igé, portant les armes de la famille de Thyard; l'autre du XVI[e] siècle, provenant de l'église d'Azé, marqué de fleurs de lys du règne de François I[er] et affectant la forme d'édifice renaissance. L'Académie remercie M. Lex de la bonne pensée qu'il a eue de lui soumettre ces objets d'art aussi remarquables par le fini et l'exécution du travail que par leur absolue conservation.

La séance est terminée par la lecture que fait M. Ch. Pellorce d'un travail de M. Bonnet, membre correspondant, sur *la ville de Paray-le-Monial*. Cette communication, qui n'est qu'une partie d'une œuvre plus complète que l'auteur se propose de faire sur le Charollais, contient des détails fort intéressants de l'histoire locale de Paray-le-Monial et a été vivement goûtée de l'Académie.

SÉANCE DU 31 MARS 1892

Présidence de M. le Dr AUBERT, président.

Etaient présents : MM. Aubert, Deton, Durand, Lacroix, Lex, Lombard de Bufflères, Martin, Pellorce, Putois, Reyssié et Siraud M. de Contenson, membre correspondant, assiste à la séance, MM. Bouchard et Jacquier se sont fait excuser.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté, et les publications reçues pendant le mois sont déposées sur le bureau.

Après le dépouillement de la correspondance, M. Putois donne lecture d'un travail intitulé : *La dépopulation de la France — Les conséquences de la révocation de l'édit de Nantes*. L'Académie accueille avec une véritable satisfaction cette étude, aussi fortement pensée que brillamment écrite et en remercie vivement l'auteur. Notre distingué collègue veut bien lire ensuite une pièce de vers : *Les bonnes Demoiselles*, qui a rencontré un accueil des plus flatteurs.

La parole est donnée à M. Félix Reyssié pour prononcer son discours de réception.

M. Reyssié répond à un article de M. Raoul Rosières paru dans la *Revue Bleue*, pendant l'impression de son livre : *La Jeunesse de Lamartine* et intitulé : *Pourquoi on ne lit plus Lamartine*.

Suivant M. Rosières, Lamartine est un homme d'avant 1820, il n'apporte au monde aucune idée nouvelle, il ne fait que répéter en vers harmonieux, dans ses *Méditations*, des chants déjà entendus, que « *restituer en pièces d'or la somme que ses prédécesseurs Lebrun, Lionard, Laharpe, Baour-Lormian, Lefranc de Pompignan avaient répandue en gros sous, mais sans l'augmenter d'un centime* ».

L'amour, le poète ne le connaît guère. Elvire est un personnage fictif ! Le sentiment de la nature n'est que celui qu'ont mis à la mode Chateaubriand, Mme de Staël ! Sa mélancolie est toute d'emprunt, c'est celle de Werther, de René, de Corinne !.

Lamartine n'est pas actuel, n'est pas de notre époque, il a l'âme indifférente : « *La commisération, la pitié, l'angoisse, nous les chercherions en vain depuis les premières* Méditations *jusqu'aux derniers* Recueillements ! »

M. Reyssié nous fait voir, à l'encontre de ces singulières affirmations, que les *Méditations* sont une rénovation de la poésie en France, qu'on y trouve précisément ce qui ne se rencontrait pas chez les versificateurs de la fin du XVIIIe siècle : la vie, le mouve-

ment, l'impression vécue. Chez Lamartine tout respire, palpite, l'homme et les choses

L'amour! n'est-ilpas dans l'agonie de Julie! La mélancolie! dans le déchirement de son âme à la mort de Juliie! Le sentiment de la nature! il l'a puisé à Milly, à Saint-Point, qui sont pour lui « *les maternelles campagnes de France* »! Lamartine indifférent! l'auteur de *Jocelyn*, de la *Marseillaise de la Paix*, de *Geneviève!*

Il a eu la consécration du malheur comme Homère son grand ancêtre, mais, au lieu de maudire, il a pardonné.

Cette communication, dont nous ne pouvons que donner une analyse aussi incomplète que stérile, a été vivement appréciée par l'Académie, qui a félicité l'auteur de cette vigoureuse réplique, couronnement nécessaire de sa remarquable étude sur *la Jeunesse de Lamartine*.

M. le Président fait au récipiendaire, en quelques pages spirituellement écrites, une réponse aussi aimable qu'appropriée au sujet traité et donne ensuite la parole à M. Ch. Pellorce, qui lit un article de M. Gustave Nadaud, *Histoire de la chanson de Carcassonne*.

M. Lombard de Buffières communique une lettre de M. le Président de *La Diana*, qui demande à notre Société l'échange des publications.

M. le Secrétaire perpétuel répondra en proposant l'envoi des *Annales* depuis 1850 et en demandant la collection complète des travaux de la Société Forézienne.

SÉANCE DU 28 AVRIL 1892

Présidence de M. Ch. PELLORCE, vice-président.

Etaient présents : MM. Bouchard, Lacroix, Lex, Lombard de Buffières, Pellorce, Reyssié.

MM. Aubert, Arcelin, Mangenot, Putois, Siraud se font excuser par lettres.

Lecture et approbation du procès-verbal de la dernière séance.

M. Lex dépose sur le bureau le premier exemplaire de sa *Notice historique sur la ville de Givry et ses hameaux*, à laquelle la Société avait souscrit.

Communication est faite d'une circulaire du ministre de l'instruction publique rappelant que le dernier délai accordé aux Sociétés savantes pour désigner des délégués au Congrès de la Sorbonne, qui s'ouvrira le 7 juin, est fixé au 10 mai prochain. MM. Lacroix, Lombard de Buffières, Pellorce et Reyssié se sont fait inscrire.

M. le B[on] de Bufflères demande que MM. F. Coppée, Picot et F. Bouillier, qui ont représenté officiellement l'Académie française aux fêtes du centenaire de Lamartine, soient inscrits comme membres correspondants de l'Académie. Cette proposition est approuvée à l'unanimité, mais il est décidé qu'avant d'en informer officiellement les intéressés, M. de Bufflères voudra bien les présenter sur leur acceptation.

M. Lex donne lecture d'un fragment d'une étude sur Eudes, comte de Blois, de Tours, de Chartres, de Troyes et de Meaux, qui a fait l'objet de sa thèse à l'Ecole des Chartes. Notre savant collègue est prié d'arranger pour nos Annales la partie de son travail qui concerne la campagne du comte Eudes en Bourgogne, l'an 1032.

M. le Président dépose sur le bureau, tout en la réservant pour la prochaine séance, une pièce de poésie de M. R. Gonnard, petit-fils de notre sympathique collègue, M. Putois, intitulée : *Callinos d'Ephèse,* pièce historique en un acte.

La fête de l'Ascension tombant le dernier jeudi du mois, il n'y a pas eu de séance le mois de mai.

SÉANCE DU 30 JUIN 1892

Présidence de M. le D[r] AUBERT, président.

Etaient présents : MM. Aubert, abbé Canet, Durand, Lacroix, Lex, B[on] Lombard de Bufflères, Mangenot, Martin, Putois et Reyssié. M. Siraud s'est excusé par écrit de ne pouvoir assister à la séance.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté, et les publications reçues pendant le mois sont déposées sur le bureau.

M. le Secrétaire perpétuel dépouille la correspondance et communique notamment une lettre du Bibliothécaire de la Société *La Diana*, annonçant l'envoi de la collection des Annales de cette Société.

M. Lombard de Bufflères, rendant compte de la mission qu'il a bien voulu accepter, annonce à l'Académie que MM. François Coppée, Picot et Bouillier accepteront avec plaisir le titre de membres correspondants. A l'unanimité des voix, ces candidatures sont acclamées et avis en sera donné aux intéressés par les soins de M. le Secrétaire perpétuel.

*

M. Léotard, doyen de la Faculté des lettres de Lyon, a donné à la Société un exemplaire d'une conférence faite par lui aux Facultés catholiques de cette ville, et ayant pour titre : *Lamartine posthume*.

M. Chaumonot, percepteur en résidence à Mâcon, fait une communication verbale sur une station robenhausienne dont il a recueilli de nombreux éléments dans les sables de la Saône. L'Académie prie M. Chaumonot de vouloir bien lui adresser un rapport écrit, et délègue MM. Arcelin, Lex et Lacroix pour visiter sa collection.

M. Lombard de Buffières entretient la Société de la souscription faite par M. d'André de Claverie à l'ouvrage du Centenaire; la question est renvoyée au bureau.

M. Paul Martin, poursuivant ses études sur les artistes de Saône-et-Loire, lit des fragments d'un travail sur les œuvres exposées par nos peintres aux Salons annuels de Paris de 1888 à 1891. Il cite d'abord leurs deux doyens : MM. Joseph Caraud et Philibert Couturier, qui, après avoir exposé depuis plus de 40 ans et avoir remporté de nombreux succès, ont conservé toute la fraicheur de leur esprit et de leur talent. Puis il cite ceux de nos artistes dont les œuvres ont été remarquées dans cette période de quatre ans : M. Léon Couturier, notre peintre militaire à qui la *Prise de Malakoff* et le *Cabestan* ont valu le titre de *peintre de la marine*; Mlle Rongier, dont le talent délicat et distingué s'est affirmé surtout par un vigoureux portrait de *César Franck*, l'éminent compositeur; MM. Emile, Jacques et Philippe Jolyet, qui se sont fait remarquer par des scènes de la vie rurale très vraies et prises sur le vif; M. Edouard Sain, l'élégant portraitiste du high life. Puis notre confrère termine par deux débutants : MM. Merlette et Gaston Bussières, qui progressent chaque année et permettent d'espérer d'ici peu des artistes distingués.

M. Martin promet la fin de ce travail pour une prochaine séance.

M. Durand lit un nouveau chapitre de son travail sur l'Académie de Mâcon : *Etude sur M. le docteur Duffour*. Ces deux communications sont accueillies très favorablement par la Société.

M. Martin communique une lettre de M. Bouchard fils relative aux poésies de son père, dont il offre de faciliter l'impression. La question est renvoyée à la commission déjà nommée, composée de MM. Bouchard, Deton et Lacroix.

SÉANCE DU 25 JUILLET 1892

Présidence de M. le Dr AUBERT, président.

Étaient présents : MM. Aubert, Bouchard, Lacroix, Lex, Putois et Siraud.

MM. Jacquier, Bon Lombard de Buffières, Pellorce et Reyssié se sont fait excuser de ne pouvoir assister à la réunion.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté, et les publications reçues pendant le mois sont déposées sur le bureau.

M. Guillemaut, député de Saône-et-Loire, a bien voulu adresser à l'Académie un volume sur la *Bresse Louhannaise*, dont il est l'auteur. Des remerciements lui seront adressés.

M. Siraud dépose un exemplaire des bulletins annuels de la Société Amicale des anciens élèves de l'Ecole normale de Mâcon (1885-1891).

M. Ch. Pellorce propose par lettre la candidature, au titre de membre correspondant, de M. Thuriet, président du tribunal de Saint-Claude. Elle est adoptée en principe à l'unanimité, sauf à entendre la lecture règlementaire.

M. Bouchard fait une communication sur le poète bressan Buchot, auteur des *Poèmes des Champs*, dont on prépare un nouveau volume de poésies posthumes. L'Académie souscrit à un exemplaire de cet ouvrage.

M. Lex place sous les yeux de la Société le manuscrit original de *Raphaël*, qu'il vient d'avoir la bonne fortune d'acquérir pour la bibliothèque de Mâcon.

SÉANCE DU 27 OCTOBRE 1892

Présidence de M. le Dr AUBERT, président.

Etaient présents : MM. Aubert, Bouchard, Durand, Lacroix, Lex, Bon Lombard de Buffières, Putois et Siraud.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et adopté ; les publications reçues pendant le mois sont déposées sur le bureau.

Lecture est donnée par M. le Secrétaire perpétuel de la correspondance, notamment de lettres de MM. François Coppée, Georges Picot et Francis Bouillier, remerciant l'Académie du titre de membre correspondant qui leur a été conféré.

La Société des amis sciences et arts de Rochechouard (Haute-Vienne) demande à faire l'échange de ses publications avec celles de la Société. Cette proposition est acceptée et il y sera donné suite par les soins du secrétaire perpétuel.

M. le Ministre de l'instruction publique a adressé, à la date du 12 août, une circulaire annonçant que le 31e congrès des Sociétés savantes de Paris et des départements s'ouvrirait à la Sorbonne le mardi 4 avril 1893, et fixant au *1er février, date extrême et de rigueur*, l'envoi des manuscrits et communications. Une seconde circulaire annonce, pour les mêmes dates, l'ouverture de la 17e session des Sociétés des Beaux-Arts des départements et fixe le même délai pour l'envoi des mémoires préparés en vue de cette session.

M. le Président rappelle les décès qui viennent de frapper la Société dans la personne de MM. de Rosemont et de Vienne. Sur la proposition de M. Durand, l'Académie décide que des notices seront faites sur nos regrettés collègues, et que les membres qui en seront chargés devront être désignés à la prochaine séance.

La parole est ensuite donnée à M. Durand pour la lecture de la suite de son travail sur l'Académie de Mâcon : *M. Batilliat.*

SÉANCE DU 24 NOVEMBRE 1892

Présidence de M. le Dr AUBERT, président.

Etaient présents : MM. Aubert, de Benoist, Biot, Bouchard, Durand, de Lachesnais, Lacroix, Lex, Bon Lombard de Buffières, Pellorce et Reyssié.

M. Siraud s'est excusé par écrit de ne pouvoir assister à la séance.

M. le Président, sur la proposition du bureau, demande s'il n'y aurait pas lieu, par suite de l'impossibilité de plusieurs de nos collègues de pouvoir assister aux séances le dernier jeudi du mois, de les fixer, à l'avenir, au troisième jeudi. La question est renvoyée à la prochaine séance, et elle figurera à l'ordre du jour envoyé aux membres de l'Académie.

M. le Dr Leriche, s'étant établi définitivement à Nice, adresse sa démission de membre résidant. — M. de Thoisy ayant également donné sa démission, tous deux sont nommés membres correspondants. — M. le Président dépose sur le bureau une brochure envoyée par M. le Dr Leriche : *Du traitement chirurgical dans les affections non néoplastiques des annexes de l'utérus.* Des remerciements seront adressés à l'auteur.

M. Lex offre à l'Académie un exemplaire de l'*Inventaire sommaire des archives communales de Fontaines* (antérieures à 1790), et

une brochure : *Eudes, comte de Blois, de Tours, de Chartres, de Troyes et de Meaux, et Thibaud son frère* (995-1037). Il fait passer sous les yeux de la Société deux volumes manuscrits de M. Monnier, qu'il a eu la bonne fortune de trouver chez un marchand de livres, et qui complèteraient la collection de ceux que possède l'Académie. — M. Lex est prié de vouloir bien en faire l'acquisition.

L'Académie procède ensuite à l'élection de son président pour l'année 1892-1893. — M. Ch. Pellorce est proclamé président et le bureau est réélu tout entier à l'unanimité.

M. le Président, après avoir pris place au fauteuil et remercié ses collègues du nouvel honneur qui lui est fait, fait un rapport verbal sur un livre de poésies de M. Georges Droux, de Mâcon : *Larmes et sourires*. Il lit plusieurs pièces de ce jeune auteur, auquel des remerciements et des encouragements devront être adressés.

Lecture est également donnée d'une poésie : *Callinos d'Ephèse*, offerte par M. Putois, au nom de M. Gonard, son petit-fils, qui en est l'auteur. L'Académie témoigne de sa sympathie tant pour le mérite de l'ouvrage que pour les liens de parenté qui unissent le jeune poète à un de ses membres les plus distingués.

M. Lex donne lecture de deux épitres en vers qu'il vient d'acquérir pour les Archives départementales. Ce sont deux lettres de J.-B. Begon, curé de Cruzilles (31 décembre 1737 et 31 octobre 1735), à l'abbé Brissard, secrétaire du cardinal de Fleury, abbé de Tournus (1715), ministre d'Etat (1726).

Le curé y expose :

..........(s)a dévotion
Pour la canonisation (*sic*).

et sollicite en vers assez alertes, remplis de mots et d'à-propos, et qui rappellent la facilité de ceux de la *Muse*, de Loret...

De finir ses jours en chantant,

c'est-à-dire d'être

Trouvé idoine
D'occuper le rang de chanoine
Dans le chapitre de Tournu.

Ces deux suppliques, qui portent bien le cachet de leur époque, sont vivement goûtées par l'Académie, qui remercie notre collègue de ses communications.

Sur le rapport de M. Ch. Pellorce, M. Thuriet, président du tribunal de Saint-Claude (Jura), auteur de nombreux travaux en prose et en vers, et notamment d'un opuscule : *Visite au berceau et à la tombe de Lamartine*, est nommé à l'unanimité membre correspondant.

M. Paul-Alfred Rousselot, viticulteur à Chessy-les-Mines, envoie à l'Académie un tableau des parasites de la vigne. Des remerciements seront adressés à l'auteur.

MM. Durand et Reyssié posent la candidature de Me Maritain, avocat à Mâcon, au titre de membre résidant. — MM. Lacroix et Siraud posent également, au même titre, celle de M. Bernard, directeur du laboratoire de Cluny. — L'Académie vote à l'unanimité la prise en considération. Le vote définitif aura lieu à la première séance et l'ordre du jour devra en faire mention.

M. le Président rappelle que, le mardi 15 novembre, a eu lieu à Solutré l'inauguration du monument de M. l'abbé Ducrost. L'Académie y était représentée par MM. Durand, Arcelin, Pellorce, Lacroix, Deton, Reyssié, Bon Lombard de Buffières, de Fréminville.

Après un discours de M. Adrien Arcelin, au nom du Comité de souscription, et une allocution de M. l'abbé Acary, curé de Saint-Vincent, M. Durand, secrétaire perpétuel, a, par suite d'une délégation de M. le Président Aubert, retenu à Mâcon, prononcé, au nom de la Société, un discours dont l'insertion aura lieu aux Annales.

Sur la proposition de M. Durand, M. le Président délègue M. Putois pour faire une notice sur M. Devienne, et M. l'abbé Canet, pour un travail analogue sur M. de Rosemont, tous deux récemment décédés membres résidants de l'Académie.

Il est ensuite procédé au tirage au sort des lectures pour l'année 1892-1893. Elles sont réparties de la manière suivante :

Décembre 1892. — MM. Arcelin, Siraud, Lex.
Janvier 1893. — MM. de Benoist, de Fréminville, Galichon.
Février. MM. Reyssié, Baron Lombard de Buffières, Jeandet.
Mars. — MM. Martin, Pellorce, Bouchard.
Avril. — MM. De Lachesnais, Durand, Lacroix.
Mai. — MM. Réty, abbé Canet, Dr Biot.
Juin. — MM. Deton, Jacquier, Dr Aubert.
Juillet. — MM. Putois, Mangenot, Reboul.

MACON, PROTAT FRÈRES IMPRIMEURS.

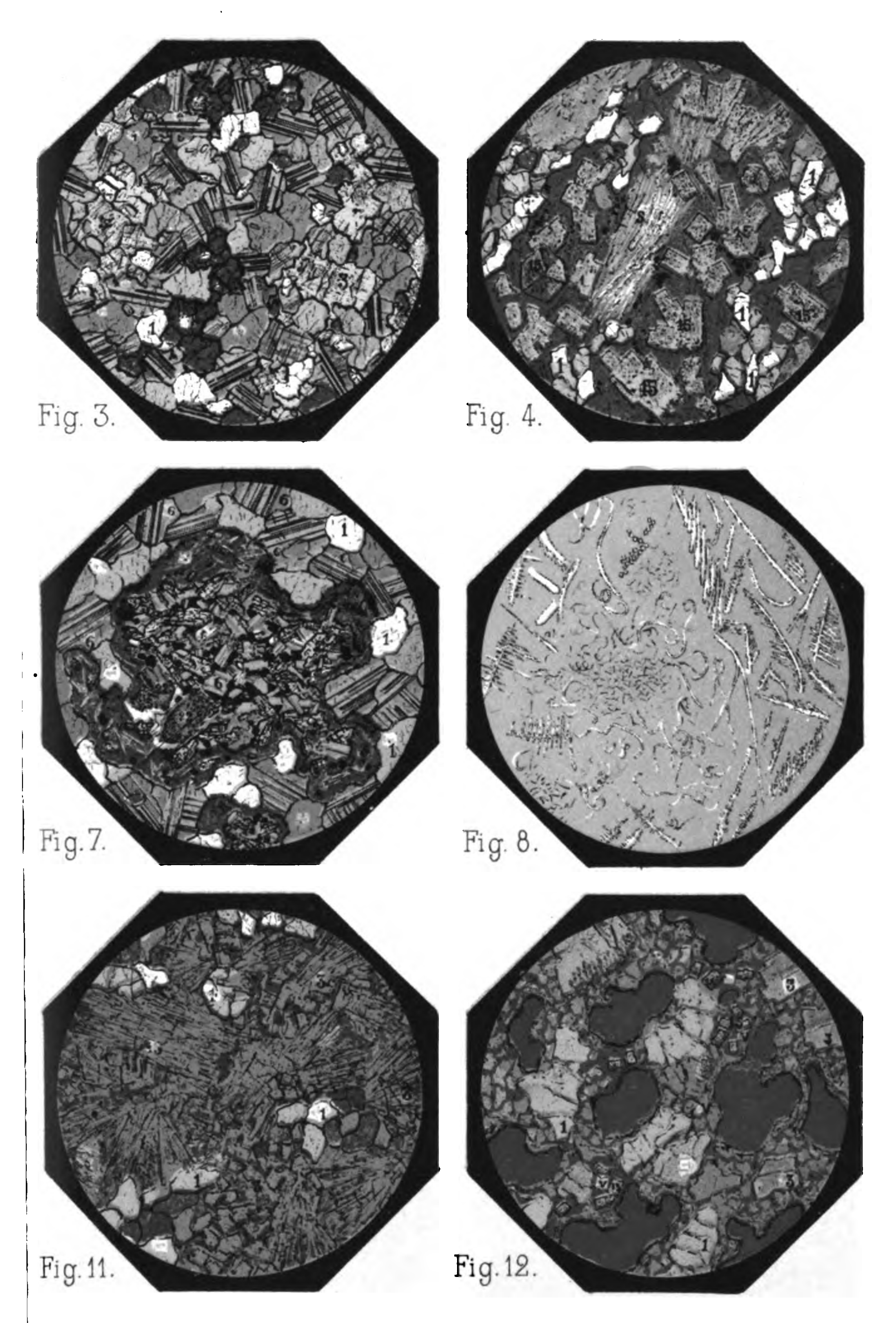
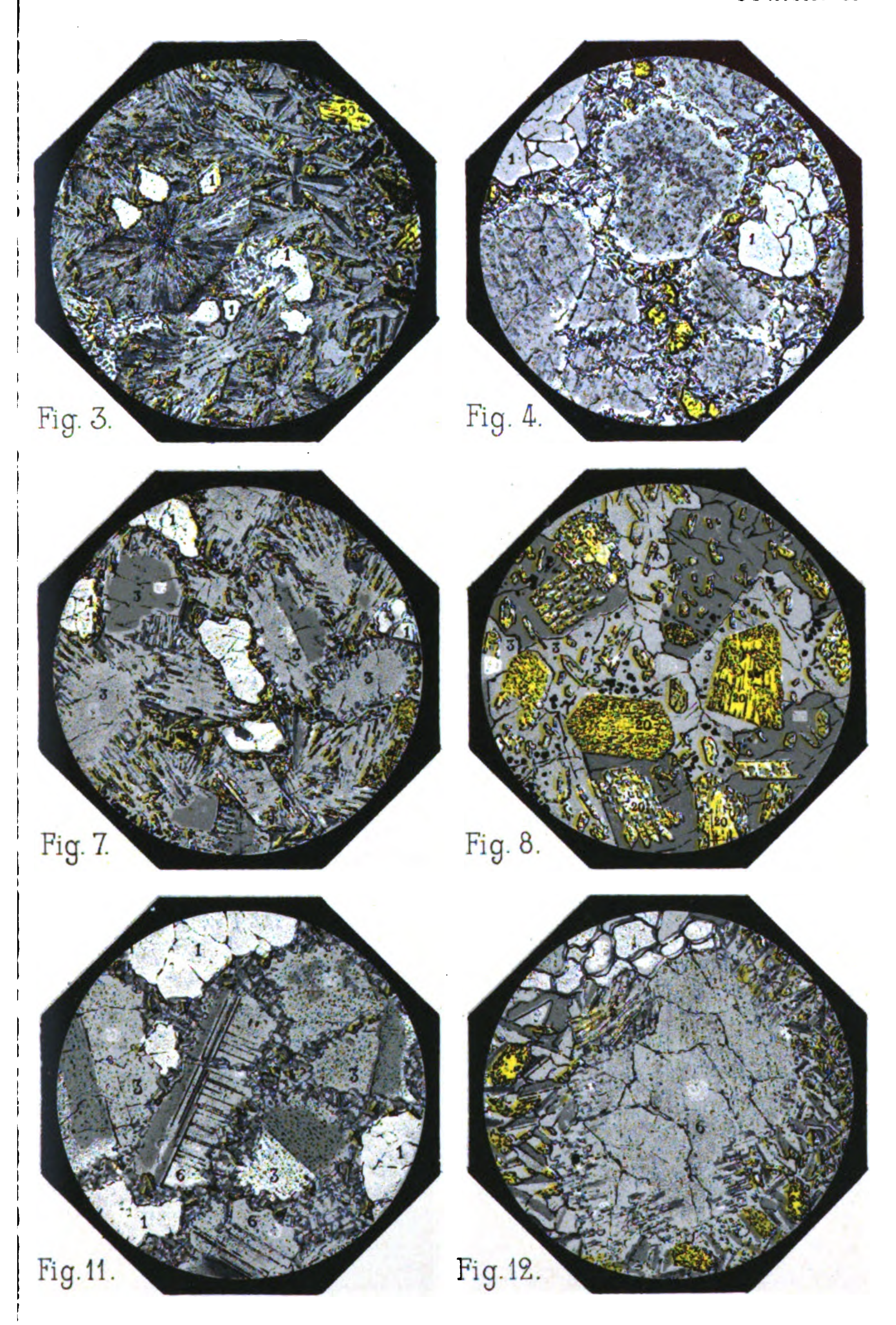


Fig. 3. Fig. 4. Fig. 7. Fig. 8. Fig. 11. Fig. 12.

Sté des Impies LEMERCIER, Paris.

M. A. Lacroix
r les
CHES VOLCANIQUES

Planche II.



Sté des Impies LEMERCIER, Paris.

e M. A. Lacroix
r les
CHES VOLCANIQUES

Planche III.

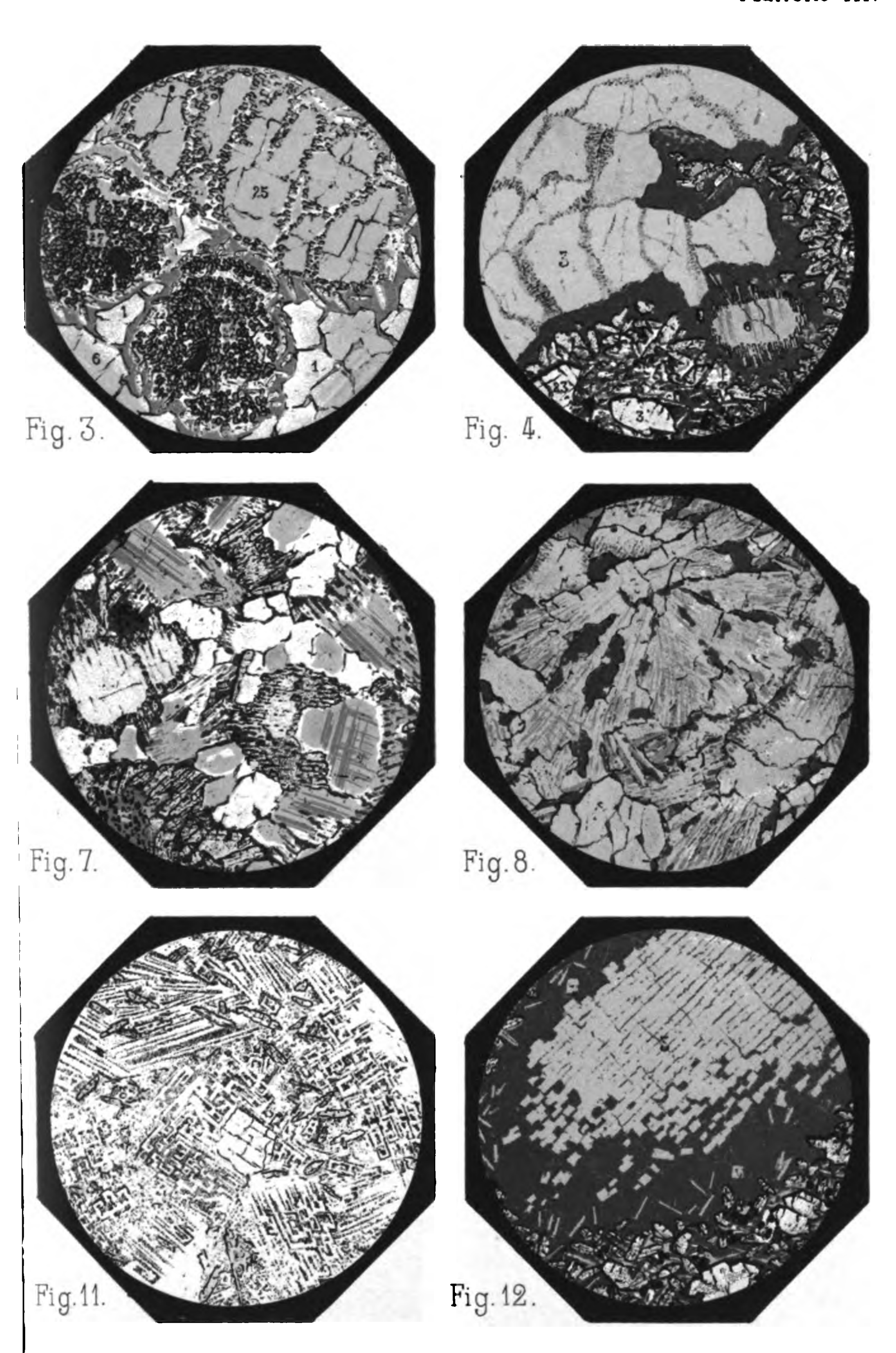


Fig. 3. Fig. 4.

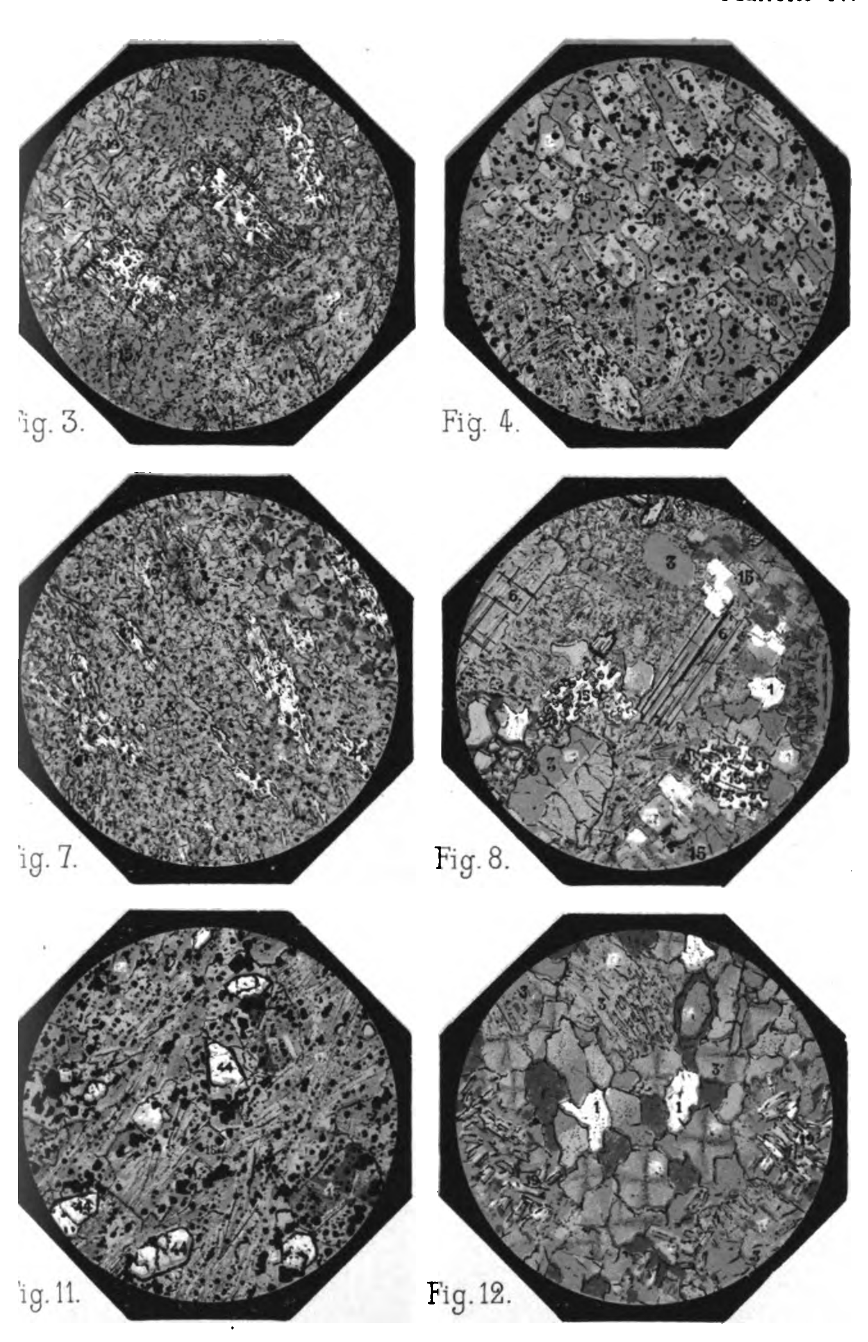
Fig. 7. Fig. 8.

Fig. 11. Fig. 12.

Ste des Impies LEMERCIER, Paris.

M. A. Lacroix
r les
CHES VOLCANIQUES

Planche IV.



'ig. 3. Fig. 4.

'ig. 7. Fig. 8.

'ig. 11. Fig. 12.

S^té des Imp^ies LEMERCIER, Paris.

I. A. Lacroix
es
IES VOLCANIQUES

Planche V.

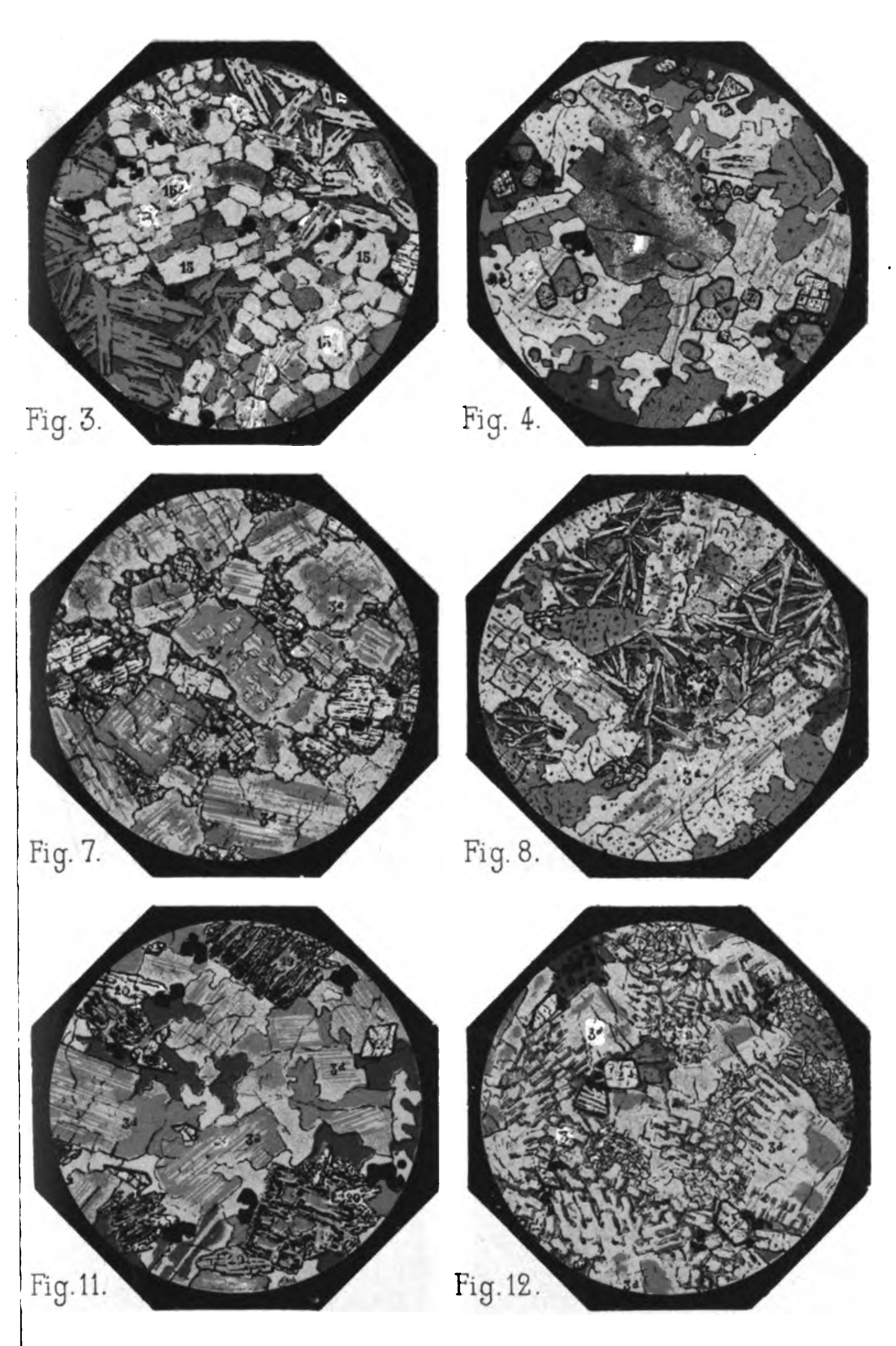
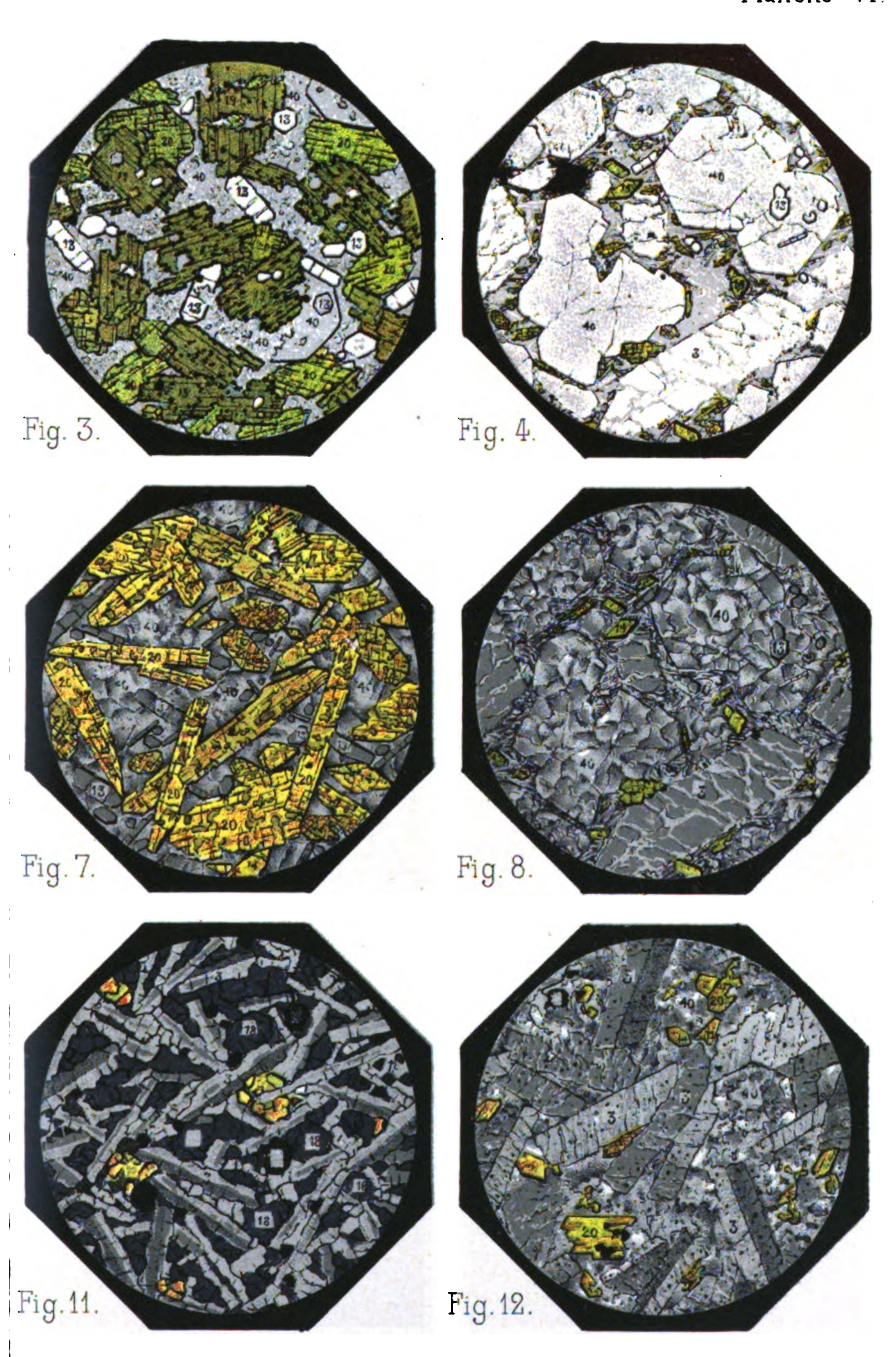


Fig. 3. Fig. 4. Fig. 7. Fig. 8. Fig. 11. Fig. 12.

Sté des Impies LEMERCIER, Paris.

M. A. Lacroix
r les
CHES VOLCANIQUES


Fig. 3. Fig. 4. Fig. 7. Fig. 8. Fig. 11. Fig. 12.

Ste des Impies LEMERCIER. Paris.

M. A. Lacroix
r les
CHES VOLCANIQUES

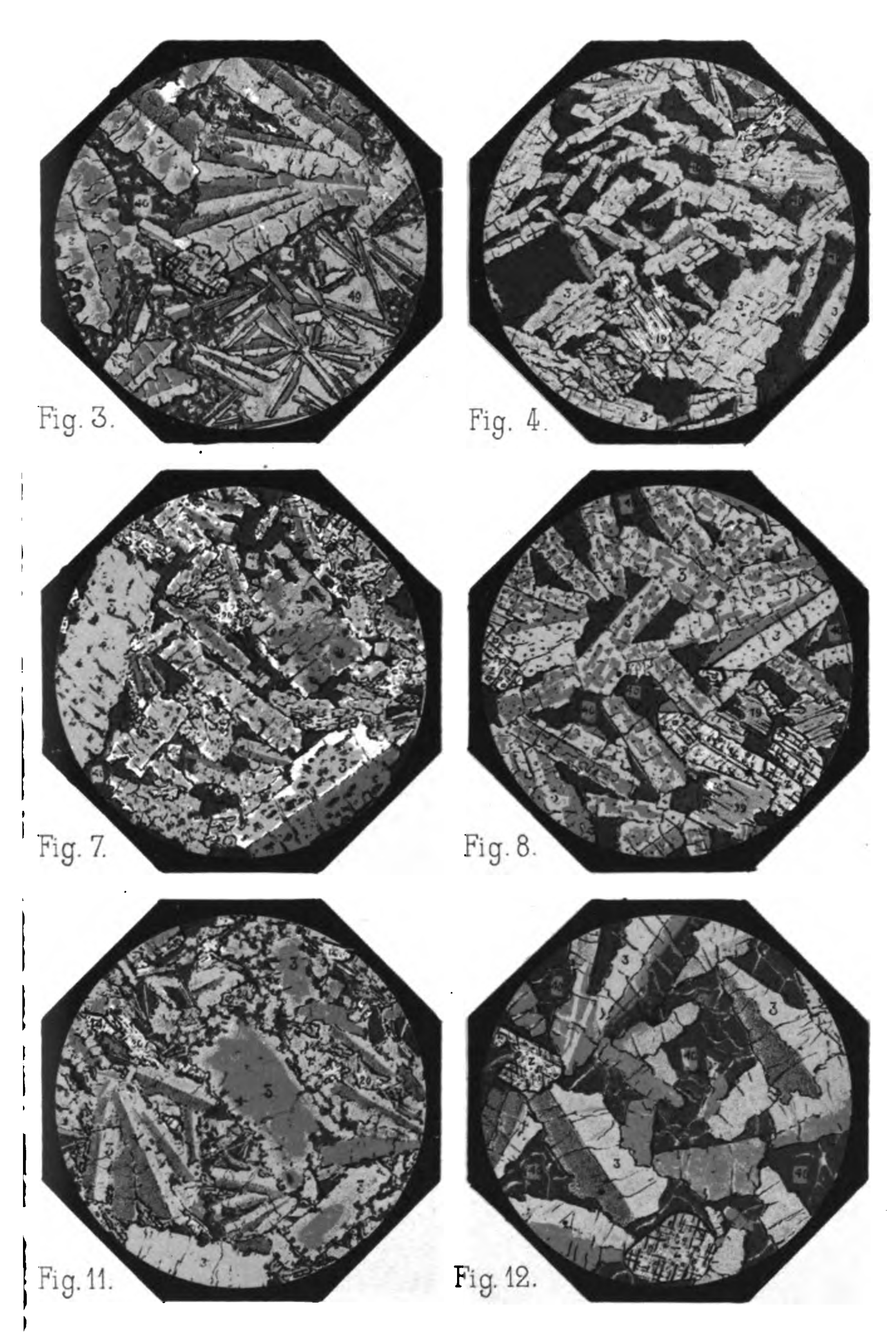


Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 7. Fig. 8.

Fig. 11. Fig. 12.

Sté des Impies LEMERCIER, Paris.

M. A. Lacroix
r les
CHES VOLCANIQUES

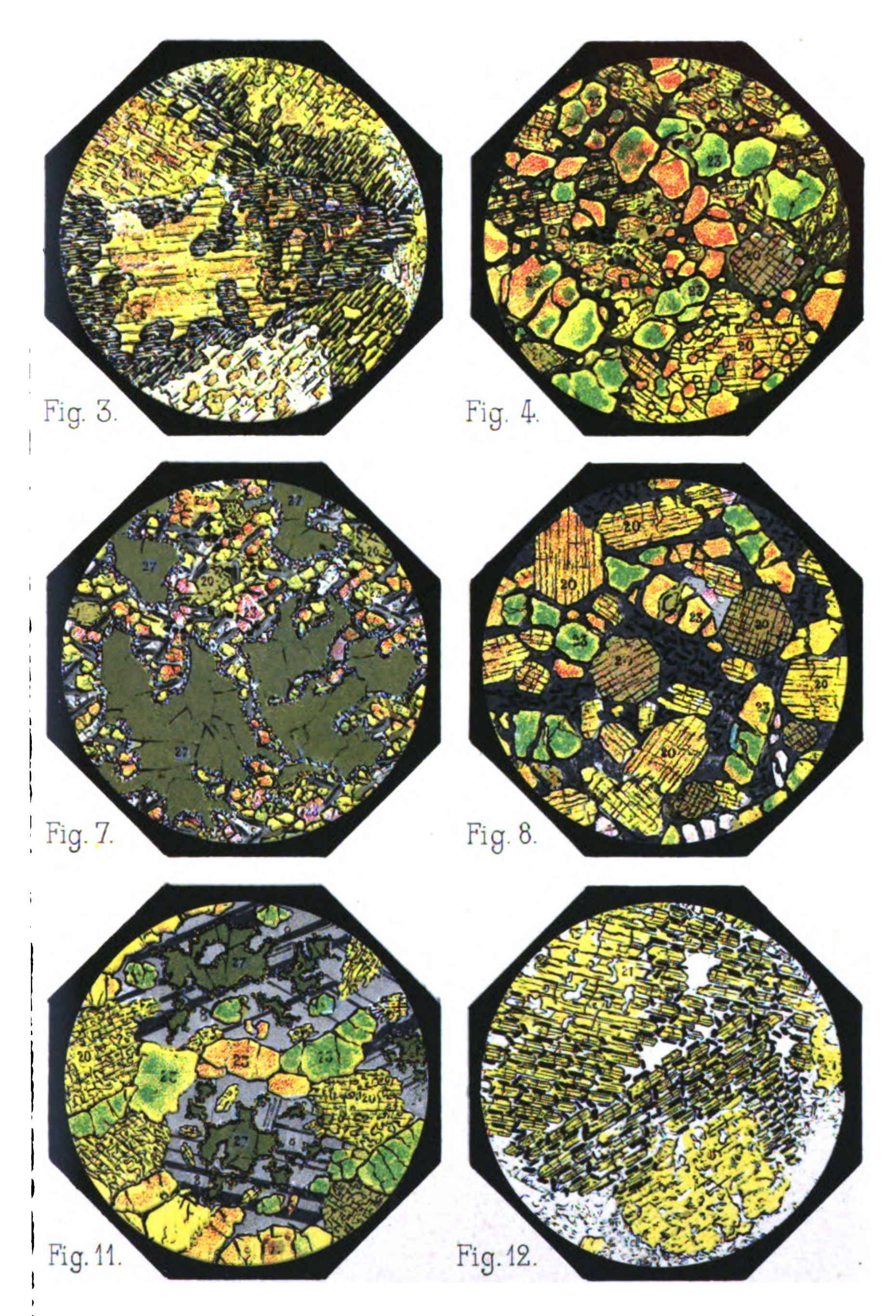


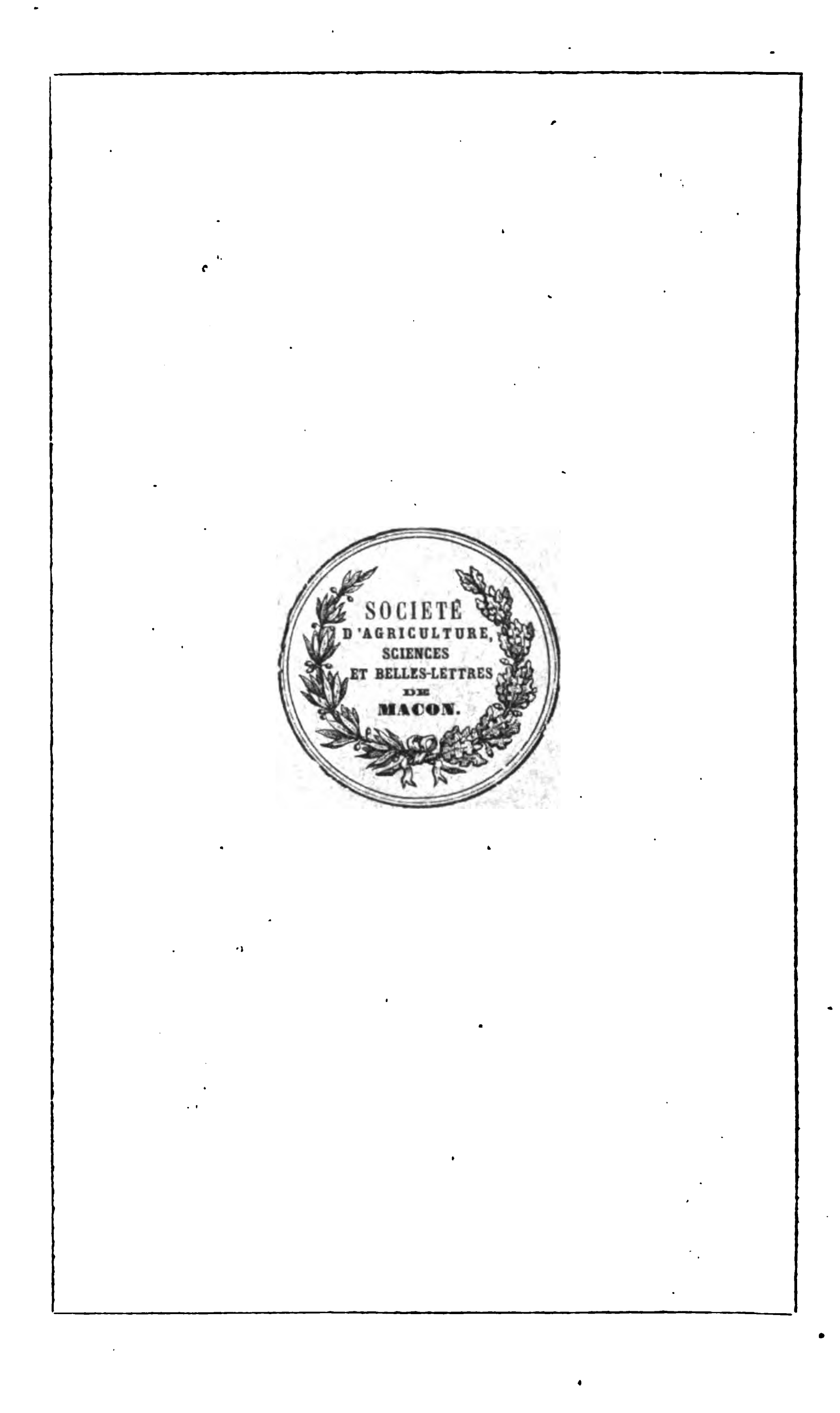
Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 7. Fig. 8.

Fig. 11. Fig. 12.

Sté des Impies LEMERCIER, Paris.

M. A. Lacroix
r les
CHES VOLCANIQUES


SOCIETÉ
D'AGRICULTURE,
SCIENCES
ET BELLES-LETTRES
DE
MACON.

